PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 19. 1. Oktober 1909. 10. Jahrgang.
Redaktionsschluß für No. 20 am 2. Oktober 1909.

INHALT.

Originalmitteilungen:

A. Hagenbach, Spektroskopische Untersuchungen des Bogens unter vermindertem Druck. S. 649.

A. R. Colley, Über den Verlauf der Dispersion im elektrischen Spektrum des Äthylalkohols. S. 657.

J. Elster u. H. Geitel, Ein Elektrometer mit freischwebenden Faden. S. 664.

J. Traube, Die Quadratwurzel der Atomgewichte. S. 667.

V. Dvořák, Über den Neyreneufschen Versuch für die Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe und seine Verwendung. S. 670.

R. Lohnstein, Beobachtungen über elektrolytische Entstehung von Silberspiegeln. S. 672.

H. W. Fischer, Einige Versuche über Oberflächenspannung. S. 673.

F. Dessauer, Neue Quecksilberunterbrecher. S. 674.

P. Ludewig, Zur Theorie des Wehneltunterbrechers. S. 678.

Besprechungen:

Jahrbuch der Naturwissenschaften. XXIII. S. 680.

W. Ramsay, Einleitung in das Studium der physikalischen Chemie. S. 680.

E. Riecke, Lehrbuch der Physik. S. 680.

Tagesereignisse. S. 680.

Personalien. S. 680.

Gesuche. S. 680.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Spektroskopische Untersuchungen des Bogens unter vermindertem Druck.

Von August Hagenbach.

Einleitung.

Weitaus die meisten spektroskopischen und elektrischen Untersuchungen des Bogens sind bei Atmosphärendruck in Luft ausgeführt. Erst als es sich um die Koinzidenzbestimmungen der Sonnenlinien mit den irdisch erzeugten Spektrallinien handelte, wurde der Bogen unter Druck beobachtet und dabei von Humphreys und Mohler[1]) die Verschiebung der Linien nach Rot mit dem Druck entdeckt. Es folgte dann eine große Reihe von Arbeiten, in denen die Verschiebungen im Bogen und z. T. auch im Funken messend verfolgt wurden.

Wenige Arbeiten aber nur beschäftigen sich mit dem Bogen unter vermindertem Druck. In keiner von diesen Untersuchungen sind die optischen Erscheinungen in den verschiedenen Teilen des Bogens getrennt beobachtet worden, sondern es wurden stets die Spektren von dem gesamten Bogen mit dem Gitter photographiert.

Die Verschiebungen der Linien unter vermindertem Druck nach Violett sind von Mohler[2]) konstatiert worden, doch sind die Beträge so klein, daß sie an der Grenze des Meßbaren liegen.

Im folgenden soll nun über den Anfang einer Untersuchung des Bogens unter vermindertem Druck berichtet werden, wobei aber nicht die Verschiebungen der Linien, sondern die Spektren selbst, wie sie von den verschiedenen Teilen des Bogens emittiert werden, genauer studiert wurden. Später werde ich Gelegenheit nehmen, die elektrischen Eigenschaften des Bogens unter den gleichen Bedingungen zu untersuchen und darnach trachten, die elektrischen mit den optischen Ergebnissen zu vergleichen.

Das Hauptergebnis dieser Untersuchung ist kurz folgendes: Es stellte sich heraus, daß im Bogen nicht nur die Spektren der Metalle, d. h. der Elektroden, sondern auch der umgebenden Atmosphäre zu erhalten sind und zwar mit Intensitäten, wie es im Geißlerrohr nicht zu erreichen ist. Man erhält hier also bei relativ niederen Spannungen die Gasspektra im Gleichstrom. Eine wichtige Tatsache scheint mir ferner zu sein, daß die verschiedenen Teile des Bogens sich ganz verschieden verhalten in bezug auf die Emission.

Zunächst habe ich den Kupferbogen in Atmosphären von Luft, Kohlensäure, Leuchtgas und Wasserdampf einem eingehenden Studium unterworfen. Außerdem habe ich mit einigen andern Metallen, Silber, Eisen, Messing und mit Kohle einige Versuche angestellt, doch werden hier davon nur die Resultate erwähnt werden, welche zu dem Kupferbogen Beziehungen haben.

Die Strom- und Spannungskurven der Metallbogen sind von verschiedenen Seiten aufgenommen worden, ich erinnere hier nur an die neuerdings sehr sorgfältigen Untersuchungen über die Stabilität des Metallbogens von Guye und Zebrikoff[1]). Diese Messungen beziehen sich aber alle auf normalen Druck. Unter vermindertem Druck sind von L. Arons[2]) an

1) Humphreys u. Mohler, Astrophys. journ. **3**, 144, 1896; ferner Humphreys, Jahrbuch der Rad. u. El. **5**, 324, 1908, Bericht über die Verschiebung der Spektrallinien durch Druck. Er enthält die ganze Literatur.

2) Mohler, Astrophys. journ. **4**, 175, 1896.

1) G. E. Guye u. L. Zebrikoff, Arch. de Genève **5** (2), 3, 1907. Hier findet sich auch die ganze Literatur zusammengestellt.

2) L. Arons, Ann. d. Phys. **1**, 700, 1900.

Zink, Blei, Kadmium und Magnesium in Stickstoff und Wasserstoff Beobachtungen angestellt worden, und es findet sich dort die Bemerkung, daß bei niederen Drucken eine andere Entladungsform als der gewöhnliche Bogen vorkomme. Er sagt, daß die Farbe in gewissen Teilen des Bogens eine andere werde; spektroskopische Beobachtungen stellte er aber nicht an.

Die Ausführung der Versuche.

Für die optische Untersuchung diente mir der Universalspektrograph von Töpfer & Sohn. Ich habe denselben schon an anderer Stelle[1]) beschrieben. Für den sichtbaren Teil benützte ich das Glasprisma und für den ultravioletten die drei Quarzprismen. Im ersten Falle wurde auf rotempfindliche Platten (Lumière oder Wratten & Wainreight), im letzteren auf Film, die in die Bildkrümmung gelegt wurden, photographiert. Für das Ultraviolett brauchte ich zwei Aufnahmen, die eine reichte von $\lambda = 2100$ bis 2770 Å.-E., die zweite von 2670 bis 4600, während die Aufnahmen mit dem Glasprisma die Wellenlänge von 3500 bis 7000 enthielten.

Da meine Untersuchung nicht nur auf verminderten Druck, sondern auch auf erhöhten Druck sich ausdehnen und nicht nur den Bogen, sondern auch die Funkenentladungen berücksichtigen soll, so mußte ich einen Apparat konstruieren, der alle diese Entladungsformen bequem ermöglichte.

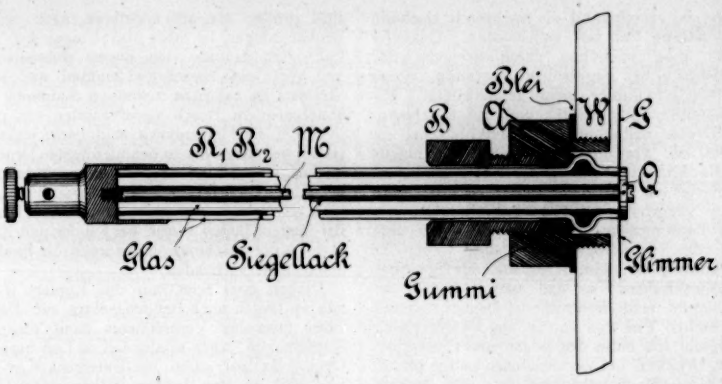
Der Apparat zur Aufnahme der Bogenlampe bestand aus einem Kessel aus Grauguß von einem Zentimeter Wandstärke. Er war 30 cm lang, mit parallelen ebenen Seitenwänden, die auf der Außenseite durch eine Rippe verstärkt waren; die Schmalseiten vorn und hinten waren zylindrisch. Die Höhe betrug 30 cm, die Breite 12 cm, der Boden war eben und durch eine Rippe verstärkt. Die Zahlen sind innere Maße. Die Bogenlampe ganz aus Messing konstruiert, weil unter erhöhtem Drucke sehr starke Oxydationen der Eisenteile durch den Wasserdampf sich unangenehm bemerkbar machten, wurde in den Kessel, der oben offen war, hineingestellt. Die Elektrodenhalter an der Lampe waren durch je 5 cm lange Stücke aus Marmor unterbrochen, so daß sie von dem Kessel gut isoliert waren und sowohl für Bogen- wie für Funkenentladungen benutzt werden konnten. Der Deckel des Kessels wurde mit 20 starken Schrauben befestigt. Als Dichtung diente ein Bleiring. Dieser Deckel aber wurde nur geöffnet, wenn an der Lampe eine Reparatur notwendig war, oder wenn das Innere des Kessels gereinigt werden mußte. Es befand sich nämlich in dem Deckel vorn über den Elektroden noch eine zweite Öffnung, die groß genug war, daß man die Elektroden einsetzen konnte; er wurde nur durch 4 Schrauben (Bleidichtung) aufgeschraubt. Im hinteren Teile des großen Deckels waren zwei Stopfbüchsen angebracht, durch welche einerseits die ganze Lampe im Innern in der Höhe verschoben und anderseits die Elektroden zur Berührung gebracht werden konnten. Ferner waren zwei Metallhähne zum Evakuieren und Einlassen von Gasen eingelassen, und ein Manometer befestigt. Bei hohen Drucken diente ein Metallmanometer, bei niederen ein Quecksilbermanometer zur Druckbestimmung.

Einige Schwierigkeiten machte es, die Stromzuführung gut isoliert einzuführen. Im komprimierten Gas nimmt der Übergangswiderstand für den Funken ungefähr dem Drucke proportional zu. Es entspräche z. B. einer Funkenlänge von 0,5 cm bei einem Druck von 30 Atmosphären eine solche von 15 cm bei Atmosphärendruck, deshalb muß die Isolierung gegen die Kesselwand außerordentlich gut sein. Dies erreichte ich auf folgende Weise.

Ein Messingstäbchen M, Fig. 1, als Stromzuleitung wurde in ein dickwandiges Glasrohr R_1, von etwa 20 cm Länge, mit rotem Siegellack auf die ganze Länge eingekittet. Diese Röhre wurde wiederum in eine zweite Glasröhre R_2 von 2 cm Weite (Wasserstandsglas) auf dieselbe Weise eingekittet. Dadurch erhielt man eine sehr gut isolierende Schicht, die auch sehr hohen Potentialen gegenüber genügende elektrische Festigkeit bot. Am äußeren Ende wurde die Röhre mit einer Messingkapsel, an der eine Klemmschraube saß, verschlossen. Auf der in den Kessel ragenden Seite wurde der Verschluß ähnlich gemacht, nur daß eine Glimmerplatte G durch eine Metallschraube Q aufgeschraubt wurde. Von letzterer ging dann der Verbindungsdraht nach der Elektrode. Ein starker Messingzylinder A nahm die Röhre R_2 auf. Damit die Glasröhre auch bei hohem inneren Druck nicht herausgepreßt werden konnte, wurde sie am inneren Ende etwas erweitert und lag an einem Lederringe auf. Die Dichtung zwischen Metallzylinder und Röhre R_2 wurde in sehr vollkommener Weise durch einen Gummiring erreicht, welcher durch den Messingring B stark angepreßt wurde. Nachdem die ganze Zuleitung zusammengesetzt war, wurde sie in die Kesselwand W eingeschraubt und durch einen Bleiring D abgedichtet. Statt der Bleidichtungen bewährten sich auch solche aus geöltem Karton gut. Auf diese Weise waren beide Elektroden eingeführt, die eine im unteren Drittel der einen, die andere im oberen Drittel der andern Breitseite des Kessels.

Vorn im Kessel vor den Elektroden wurde ein Messingring mit einer runden Quarzplatte

1) A. Hagenbach, Zeitschr. f. Instrum. **28**, 369, 1908.



von 2 cm Dicke und 4 cm Durchmesser eingeschraubt. Dieser Kopf wurde zum Reinigen der Quarzplatte, die oft von den Entladungen beschlagen wurde, herausgeschraubt.

Der ganze Eisenkessel war noch in einen Blechkessel so eingepaßt und verschraubt, daß die Quarzplatte und die Elektrodenzuführungen herausgeschraubt werden konnten, ohne daß die beiden Kessel brauchten voneinander getrennt zu werden. Zwischen den beiden Kesseln zirkulierte Wasser zur Kühlung.

Beobachtungen.

Die Untersuchung bezieht sich, wie schon erwähnt auf den Bogen zwischen Kupferelektroden in Atmosphären von Luft, Kohlensäure, Leuchtgas und Wasserdampf bei Drucken zwischen einer Atmosphäre und 1 mm Quecksilber. Im allgemeinen brannte der Bogen gut in Luft und Kohlensäure, schlecht in Leuchtgas und Wasserdampf.

Als Elektroden dienten runde Kupferstäbe von 1 cm Dicke. In dem Kupfer bemerkte ich Silber und Blei als spektrale Verunreinigungen.

Den Strom lieferte die städtische Leitung mit 220 Volt Gleichstrom bei passendem Vorschaltwiderstand. Einige Beobachtungen wurden auch mit 64 Volt (Akkumulatoren) ausgeführt.

Bevor ich zu den spektroskopischen Resultaten übergehe, möchte ich das Aussehen des Bogens bei abnehmendem Druck kurz beschreiben. In Luft, wo der Bogen bei allen Drucken unter einer Atmosphäre gut brannte, ließen sich die Veränderungen am leichtesten verfolgen, indem man die Beobachtung während der Evakuation anstellte.

Die positive Elektrode war stets heißer, ob sie oben oder unten war. Bei abnehmendem Druck wurde der Temperaturunterschied immer bedeutender. Bei Atmosphärendruck wurde auch die negative Elektrode bei längerem Brennen glühend, während bei niederem Drucke (1—2 cm) die negative Elektrode bei Stromstärken unter neun Ampere nicht ins Glühen kam, trotzdem die positive schon in kurzer Zeit rot war.

Bei Atmosphärendruck waren die beiden Pole wenig voneinander verschieden, aber bei abnehmendem Druck ließen sich bald drei ganz differenzierte Teile im Bogen erkennen. Am negativen Pol zog sich ein hell leuchtendes Büschel von der gewöhnlichen Farbe des Kupferbogens zusammen. Es enthielt auch, wie wir sehen werden, fast nur das Kupferspektrum. Am positiven Pol hingegen beobachtete man bei einiger Verdünnung rötlichviolette Angriffspunkte, manchmal in großer Zahl, manchmal nur wenige. Bei niederem Druck waren sie meistens zahlreicher und traten auch an der Seite der Elektrode auf; schließlich wurde die ganze Elektrode auf eine Länge von mehreren Zentimetern mit einem leuchtenden flaumartigen Überzug eingehüllt. In den Punkten und dem Überzug fanden wir das Gasspektrum (Stickstoff). Zwischen den beiden Elektroden war eine ziemlich schwach leuchtende Hülle, welche sich mit abnehmendem Druck immer mehr verbreiterte. Bei Drucken unter 10 cm konnte man den Bogen leicht auf 5 cm Länge ausziehen, ohne daß er erlosch und dabei wurde die mittlere Hülle des Bogens auch mehrere Zentimeter breit. Der mittlere Teil war lichtschwach und die spektroskopische Untersuchung zeigte Elektroden- und Gasspektrum gemischt.

Näherten wir die Elektroden einander, so suchte das Büschel am negativen Pol den positiven zu erreichen und wenn es die Elektrode

erfaßte, so verschwand die leuchtende Gashülle am positiven Pol fast vollkommen. Dasselbe konnte man erreichen durch Steigern der Stromstärke bei gegebenem Abstande, wobei das Büschel immer mehr herauswuchs. Mit zunehmender Stromstärke und mit zunehmendem Druck nahm also das Metallbüschel zu.

Um die verschiedenen Teile des Bogens auf die Emission hin genauer zu studieren, projizierte ich mit einer Quarzlinse das etwa 10mal vergrößerte Bild der Lichtquelle auf einen Papierschirm, der unmittelbar vor dem Spalt des Spektrographen stand. Vor der Spaltöffnung war ein Stückchen des Schirmes herausgeschnitten, so daß man während der Aufnahmen stets kontrollieren konnte, ob der gewünschte Teil des Bogens zur Untersuchung gelangte. Ich habe den Bogen unter verschiedenen Drucken bei verschiedener Länge photographiert. Es wurden weit über 100 Aufnahmen gemacht. Die Expositionszeiten waren sehr verschiedene, sie variierten zwischen einer Sekunde und etwa 5 Minuten. Bei Spektren, die zum Vergleich übereinander photographiert wurden, wurden die Expositionszeiten meist so gewählt, daß beim Entwickeln die verschiedenen Spektren im Durchschnitt mit gleicher Intensität erschienen. Die dazu nötigen Zeiten ließen sich ziemlich gut schätzen. Die Resultate der Aufnahmen seien im folgenden kurz mitgeteilt.

Kupferbogen in Luft.

Die Luft, in welcher der Bogen brannte, wurde nicht gereinigt, sie enthielt also alle atmosphärischen Bestandteile, besonders auch Wasserdampf. Der Druck wurde durch eine maschinell betriebene zweistieflige Kolbenpumpe vermindert. Bis etwa 2 cm wirkte dieselbe sehr rasch, dann etwas langsamer bis 4 mm. Bei längerem Pumpen evakuierte sie sogar bis 1,5 mm. Wollte man noch weiter verdünnen, so wurde eine Gaedepumpe dazwischen geschaltet. Unter etwa 10 cm Druck wurde der Bogen sehr stabil, das Flackern hörte ganz auf. Doch ist zu bemerken, daß es nicht nur vom Druck, sondern auch sehr von der Temperatur der Elektroden abhing. Wenn die positive Elektrode heiß war, wurde der Bogen in Luft früher stabil.

Das Linienspektrum des Kupfers habe ich im Detail nicht untersucht. Ich möchte nur folgendes erwähnen. An den beiden Ansatzstellen des Bogens an den Elektroden fand man unter Atmosphärendruck sämtliche Funkenlinien des Kupfers. Es ist dies schon von Buisson und Fabry[1]) bemerkt worden. Sie behaupten, am positiven Pol wäre die Intensität größer wie am negativen, nach meinen Beobachtungen ist aber das Umgekehrte der Fall. Ich brannte den Bogen ebenfalls mit 220 Volt und Vorschaltwiderstand und einer Stromstärke zwischen 7 und 10 Ampere. Bei abnehmendem Druck verschwanden am positiven Pol die Funkenlinien bald ganz, während sie am negativen bis zu den niedrigsten Drucken blieben. Mit Eisenelektroden habe ich dasselbe gefunden, auch hier wurde das positive Spektrum viel linienärmer unter vermindertem Druck. Bei langem Bogen waren bei Kupfer und Eisen in der Mitte bei Atmosphärendruck die Funkenlinien nicht vorhanden.

Neben dem Spektrum des Kupfers traten nun im Bogen auch Bandenspektra auf. Schon unter normalen Verhältnissen fand man im Kupferbogen, wenn er also frei in Luft brannte, Cyan. Es war kaum ein Unterschied in der Intensität an den beiden Polen; einige Aufnahmen zeigten am negativen Pol etwas größere Intensität, bei anderen war wiederum keine Verschiedenheit zu bemerken. Bei langem Bogen hingegen überwog Cyan unstreitig in der Mitte des Bogens gegenüber den Polen. Ferner fand ich ziemlich stark die Wasserdampfbanden. Die Bande 3063 war auf jeder Aufnahme und zwar auch in allen Teilen des Bogens.

Überraschend war, daß im äußersten Ultraviolett der ganze Grund mit gut aufgelösten Banden bedeckt war, die sich als die dritte Deslandressche[1]) Gruppe der Stickstoffbanden herausstellte. Sie waren mit solcher Intensität vorhanden, daß es auffällt, daß sie früher nicht beobachtet sind. Es sind mir wenigstens in der Literatur keine Angaben darüber begegnet.

Bei langen Expositionszeiten erschien noch ein neuer Grund besonders zwischen 2700 und 4200, der aus zahllosen Banden zusammengesetzt war. Sie waren aber wenig differenziert und unscharf. Stark war eine Bande bei 3905 nach Violett abschattiert, die andern sollen erst gemessen werden, falls es gelingt sie scharf zu erhalten. Ob sie dem Kupfer oder einer Kupferverbindung (CuO) oder einem Gase der Atmosphäre angehören, weiß ich nicht. Jedenfalls sind es keine Stickstoffbanden, auch gehören sie nicht dem Kohlenoxyd an, wie ich durch Aufnahmen von Vakuumröhren mit Stickstoff und Kohlensäure konstatiert habe. Die Bande 3509 blieb auch bei niederem Druck. Bei Atmosphärendruck war in allen Teilen des Bogens die Emission fast dieselbe. Verminderte man aber den Druck, so blieb am negativen Pol das Kupferlinienspektrum mit allen Funkenlinien bestehen. Am positiven Pol aber trat mit dem Moment, wo der Bogen stabil wurde, die erste und zweite Deslandressche

1) Buisson u. Fabry, C. R. **146**, 751, 1908 u. Annales de la Fac. des sciences de Marseille **17**, 111, 1908.

1) Deslandres, C. R. **101**, 1256, 1885.

Gruppe des positiven Stickstoffspektrums auf. Bei einem Drucke von etwa 10 cm waren also sämtliche sichtbaren Banden des positiven Stickstoffspektrums vorhanden. Die erste Gruppe im Rot und Gelb ist photographisch wenig wirksam und ich erhielt sie nur bei längeren Expositionen, die blaue Gruppe hingegen ließ sich sehr leicht aufnehmen. Die Gesamthelligkeit des Bogens nahm mit abnehmendem Drucke ab, jedoch war relativ, d. h. gegenüber den Kupferlinien das Stickstoffspektrum bei ca. 2 cm am intensivsten. Mit einer Expositionszeit von einer Minute liefen bei den Aufnahmen mit einem Glasprisma alle Banden ineinander. Die Intensität war verglichen mit einer Stickstoffröhre mit Längsdurchsicht etwa 5mal größer, wenn der Bogen mit 9 Ampere brannte. Bei der maximalen Lichtstärke war auch die oben genannte Hülle um die positive Elektrode am besten ausgebildet.

Mit geringerer Intensität fand ich den Stickstoff auch in den von der Elektrode entfernteren Partien. Am negativen Pol allerdings, in dem eigentlichen Metallbüschel, konnte man nur bei langem Exponieren Spuren (Bandenköpfe) entdecken, während sie in der Mitte des Bogens noch ziemlich intensiv auftraten.

Die zweite Gruppe zeigte nun einige Abweichungen gegen das Spektrum, wie es in einer Stickstoffvakuumröhre erhalten wurde. Die Aufnahmen mit gut justiertem Apparate ließen die Tripletts an einigen Stellen der Banden aufgelöst erkennen. Die Vergleichsaufnahmen mit einer Stickstoffröhre zeigten die drei Komponenten der Tripletts mit gleicher Intensität, während im Bogen nur zwei davon stark waren, und die dritte fast vollkommen fehlte, so daß es auf den ersten Blick den Anschein hatte, an Stelle der Tripletts seien Dupletts getreten.

Die nämliche Intensitätsverschiebung ist auch schon von Konen und mir[1]) in dem Funken zwischen Kupfer- oder Aluminiumelektroden in Luft unter Atmosphärendruck ohne Kapazität und Selbstinduktion in dem hellen Punkt an der Elektrode gefunden worden. Man kann also offenbar nicht die Druckverhältnisse dafür verantwortlich machen, sondern die Art der Erregung vermutlich das Glimmlicht.

Ferner war auffallend, daß in der starken Bande 3158,3 die zweite und dritte Kante 3134,9 und 3115,7 sehr geschwächt erschienen, manchmal sogar fast ganz fehlten, während sie im Geißlerrohr fast ebenso stark waren wie die erste.

Die erste und zweite Deslandressche Gruppe erhielt ich fast ebenso stark im Bogen mit Silberelektroden, etwas weniger gut bei Messing und bedeutend schwächer bei Eisen[1]).

Die erste und zweite Bandengruppe des Stickstoffs erschien also nur am positiven Pol — ob der positive Pol oben oder unten war, machte keinen Unterschied —, mit großer Intensität aber nur bei vermindertem Druck von etwa 10 bis 0,2 cm Quecksilber.

Die dritte Deslandressche Gruppe verhielt sich ganz anders. Wie schon erwähnt, enthielt sie der Kupferbogen bei Atmosphärendruck, sie trat aber auch bei jedem Druck bis etwa 2 mm auf, aber im ganzen Bogen mit ungefähr gleicher Stärke. Mir schien, daß die absolute Intensität der Banden bei allen Drucken ungefähr die gleiche war, während die der Kupferlinien stark abnahm mit der Druckverminderung. Deslandres[2]) schreibt diese Gruppe einer Verbindung von Stickstoff und Sauerstoff zu. Meine Versuche bestärken jedenfalls die Auffassung, daß diese Gruppe nicht gleicher Natur ist wie die erste und zweite. Vielleicht geben Experimente in reinem Stickstoff darüber weitere Auskunft. Die dritte Gruppe fehlt z. B. auch im Funken ohne Kapazität und Selbstinduktion, wie wir[3]) es früher gezeigt haben. Ich suchte auch die negativen Stickstoffbanden und fand sie auf einigen Aufnahmen, aber ebenfalls am positiven Pol meistens sehr schwach und den positiven Banden überlagert.

King[4]) bemerkt, daß er bei Kohleelektroden im Bogen manchmal die negativen Banden beobachtet habe und ferner bei Kupferelektroden mit 440 Volt und 0,5 Ampere Stickstoff gesehen habe, doch gibt er nicht an, ob es die negativen oder positiven Banden waren, auch nicht welche Gruppe.

Die Cyanbanden erscheinen unter jedem Druck. Am leichtesten war natürlich 3884 nachweisbar, aber auch 3596, 4216 und 4601 waren gelegentlich sichtbar. Ob der Kohlenstoff im Metall gelöst ist, oder ob er von den Verunreinigungen der Luft herrührt, habe ich nicht entschieden. Unter vermindertem Druck war Cyan am negativen Pol und in der Mitte stärker wie am positiven, doch waren die Unterschiede nicht bedeutend. Die Banden zeigten nichts Besonderes, nur das in Vakuumröhren auftretende Intensitätsminimum zwischen den Kanten 3884 und 3872 war auch hier um so besser ausgeprägt, je niedriger der Druck war. Im Eisenbogen war Cyan schon längst bekannt unter Atmosphärendruck.

1) A. Hagenbach u. H. Konen, diese Zeitschr. **4**, 227, 1903.

1) A. Hagenbach, Archives de Genève **26** (4), 19, 1908.
2) Deslandres, l. c.
3) A. Hagenbach u. H. Konen, l. c.
4) A. S. King, Astrophys. journ. **20**, 21, 1904. Diese Arbeit enthält eine eingehende Untersuchung über das Kupferspektrum.

Bei allen Verdünnungen waren auf den Aufnahmen auch die Wasserbanden. Am meisten wirkte immer 3063 nach Eder mit α bezeichnet, dann 2811 β und 2608 γ; die Bande δ habe ich nicht entdecken können. Mit abnehmendem Drucke stieg die Intensität der Banden relativ sehr stark, so daß 3063 das lichtstärkste des ganzen Spektrums wurde. Man erkannte das daran, daß beim Entwickeln der Platten diese Bande sogar vor den stärksten Linien des Kupfers erschien. Ein Unterschied in der Stärke in den verschiedenen Teilen des Bogens wurde nicht beobachtet.

Hier muß ich noch eine bis jetzt unbekannte Bande erwähnen mit einer Kante bei 3021. Sie verläuft nach Rot und besteht aus scharfen Linien. Es ließen sich 13 verfolgen bis zur Kante 3063 H_2O. Diese Bande hat nichts mit Kupfer zu tun, denn ich erhielt sie auch in Geißlerröhren, in denen die Wasserbande 3063 stark war. Diese Bande fand sich auf vielen Aufnahmen und immer nur, wo die Wasserbanden intensiv waren, doch nicht immer mit gleicher Stärke. Ich glaube sie deshalb dem Wasserdampf zuschreiben zu müssen. Die Kante war übrigens nicht die stärkste Linie, sondern die Intensität nahm zu mit der Entfernung von der Kante, aber wegen der starken Bande 3063 ließ die Bande sich nicht weiter verfolgen.

Brennt man den Bogen mit großer Stromstärke, so flackert er nach oben („Bogenflamme"). In der Spitze dieser Bogenflamme habe ich bei dem in freier Atmosphäre brennenden Kupferbogen zwei aus einer Serie bestehenden Banden bei ca. 3375 und 3521 gefunden. Sie verliefen nach Rot; die mit kleinerem λ ließ sich verfolgen bis zur Kante der anderen. Die Banden haben ein sehr ähnliches Aussehen, wie die von Hartley und Ramage[1]) entdeckten Kupferbanden in der Knallgasflamme, doch habe ich die Hartleyschen nie erhalten. Diese Banden werden später vermessen werden. Über die Bogenflamme, die noch anderes Interessantes zeigt, sind Untersuchungen im Gange.

Durch vorstehendes Schema sollen die Verhältnisse übersichtlich gemacht werden. Die eingeklammerten Daten bedeuten geringere Intensität.

	posit. Pol	neg. Pol	Mitte des Bogens
Atmosphärendruck	*Cu* Bogenlinien	Bogenlinien	Bogenlinien
	Cu Funkenlinien	Funkenlinien	—
	N III. Gruppe (Cyan) (H_2O)	III. Gruppe (Cyan) (H_2O)	(III. Gruppe) Cyan H_2O
Verminderter Druck (unter 10 cm)	*Cu* Bogenlinien	Bogenlinien	Bogenlinien
	Funkenlinien	Funkenlinien	—
	positive *N* Banden	—	—
	alle 3 Gruppen	—	(Alle 3 Gruppen)
	negat. *N* Banden	—	—
	Cyan H_2O	Cyan H_2O	Cyan H_2O

1) Hartley u. H. Ramage, Transact. of roy. Dublin soc. **7** (2), 339, 1901.

Kupferbogen in Kohlensäure.

Der Kupferbogen brannte in Kohlensäure fast ebenso gut wie in Luft. Den Einfluß der Kohlenatmosphäre auf das Kupferspektrum hat schon A. S. King[1]) untersucht, doch hat er den Druck der Kohlensäure nicht variiert und auch die Spektra der Atmosphäre im Bogen nicht berücksichtigt.

Die Kohlensäure, die ich benutzte, wurde direkt einer Bombe entnommen, ohne gereinigt oder getrocknet zu werden. Das allgemeine Aussehen des Bogens mit der Druckabnahme war dem in Luft fast gleich. Die positive Elektrode erhitzte sich auch stark und wurde nach kurzer Zeit rotglühend; im heißen Zustand brannte der Bogen viel ruhiger. Entzündete man den Bogen bei vermindertem Druck, so flackerte er so lange hin und her, bis die positive Elektrode heiß war. Auch hier zog sich am negativen Pol ein Büschel zusammen, während am positiven das Glimmlicht sich mit abnehmendem Druck ausbreitete. Unterhalb eines Zentimeters war der Bogen instabil und erlosch leicht, er suchte sich zu verlängern, indem die Ansatzstelle an der positiven Elektrode zurückkletterte, oft um mehrere Zentimeter und leicht nach der Metallwand des Gefäßes überschlug. In diesem Moment wurde die Entladung eine andere, was man auch am Ampere- und Voltmeter beobachtete, es trat offenbar eine reine Gasentladung ein. Ich habe diese Entladung nicht näher untersucht, es ist wohl eine reine Glimmentladung, während vorher Bogen und Glimmentladung gemischt sind.

Bei den äußersten Verdünnungen tritt bekanntlich wieder das Metallspektrum im instabilen Bogen auf, wie es vor allem Perot und Fabry[2]) verwendet haben.

Zwischen 1 und 2 cm Druck gelang es bei heißer Anode den Bogen auf mehrere Zentimeter Elektrodenabstand zu brennen, und dann traten in der Mitte des Bogens manchmal 1 oder 2 horizontale Schichten auf. Bei Verwendung von Kohleelektroden war die Schichtenbildung viel deutlicher. Im Spektrum der Schichten war besonders Wasserstoff stark vertreten.

Die Gesamthelligkeit ging wie in Luft mit abnehmendem Druck stark zurück. Die Linien

1) A. S. King, Astrophys. Journ. **18**, 129, 1903.
2) Perot u. Fabry, C. R. **130**, 492, 1900.

des Kupfers am positiven Pol wurden weniger zahlreich aber schärfer, am negativen erhielt man bei genügender Exposition schließlich alle Linien bei jedem Druck. Die spektroskopischen Aufnahmen bezogen sich auch hier wieder auf die beiden Pole und die Mitte des Bogens.

Sie ließen folgendes erkennen:

Das Kupferspektrum verhielt sich gleich wie in Luft. Unter Atmosphärendruck erhielt ich die Bogen und Funkenlinien an den Polen. Im Ultraviolett habe ich meine Aufnahmen mit den von Eder und Valenta[1]) publizierten verglichen und gefunden, daß auch in Kohlensäure bei vermindertem Druck am positiven Pol alle Funkenlinien verschwinden, während sie am negativen bleiben. Die Intensität der Linien wurde im allgemeinen bei abnehmendem Druck geringer, aber die Schärfe nahm zu.

Unter vermindertem Druck traten an beiden Polen Spektra der Atmosphäre auf, aber verschiedene, und ich will die Emission an beiden Polen kurz beschreiben.

Am positiven Pol fand ich vor allem die Banden von Kohlenoxyd. Deslandres[1]) teilte dieselben in vier Gruppen. Im äußersten Ultraviolett liegt die vierte Gruppe. Ich fand davon die Banden 2286,2, 2311,4, 2337,7, 2364,8, 2381,5, 2394,0, 2407,4, 2435,0.

Diese Banden habe ich verglichen mit einer Aufnahme im Geißlerrohr, das mit derselben Kohlensäure gefüllt war. Sie sahen aber anders aus. Im Geißlerrohr war hinter der Kante ein Intensitätsminimum, und die Banden klangen rasch ab, im Bogen aber war der Intensitätsabfall gering und die Banden liefen alle ineinander.

Dieselben Banden, ebenso aussehend wie im Bogen, habe ich auch in einer Geißlerröhre gefüllt mit Leuchtgas bei relativ hohem Druck erhalten. Im Bogen erschien diese Bandengruppe nur bei vermindertem Druck, am besten war sie ausgebildet bei etwa 5 mm.

Die dritte Deslandressche Gruppe war ebenfalls vorhanden, bestimmt habe ich die Köpfe 2597,1, 2665,1, 2992,7, 2832,0, 2976,3 und 3134,6, 3305,3. Diese Gruppe änderte ihr Aussehen stark unter der Druckvariation. Bei höheren Drucken waren die Gruppen bei den Kanten schlecht ausgeprägt. Der Intentitätsabfall war im Bogen viel geringer wie im Geißlerrohr. Außerdem fanden sich die erste und zweite Deslandressche Gruppe, die schon von Ångström und Thalén[2]) angegeben, z. T. von Watts[3]), P. Smyth[4]), Herschell[5]) und andern vermessen wurden. Durch Vergleich mit einer CO_2-Röhre konstatierte ich die Köpfe 4130,0, 4209,0, 4394,0, 4509,0, 4836,5, 5197,0, 5607,5, 6078,0, 6622,0.

Im Gegensatz zu der vorhin genannten erschienen diese verwaschen und unscharf schon bei Atmosphärendruck. Cyan war an beiden Polen bei allen Drucken sichtbar.

Auch Wasserstoff war durch 3 Linien stark vertreten. Leving und Dewar[1]) hatten Wasserstoff zum erstenmal im Kohlebogen mit Sicherheit nachgewiesen, aber schon Secchi[2]) hatte behauptet, ihn gesehen zu haben.

Neulich hat Deslandres und d'Azambuja[3]) und Deslandres[4]) noch sogenannte „Kathodenspektren" in Geißlerröhren bei Gegenwart von Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff am negativen Pol gefunden. Im Bogen habe ich bis jetzt keine von diesen Gruppen finden können, während eine Kohlensäureröhre mit geringem Druck einige der Banden zeigte.

Der negative Pol zeigte von der dritten und vierten Gruppe der Kohlensäure nur bei niederen Drucken Spuren, während die Mitte des langen Bogens dieselben ebenso stark aufwies wie der positive Pol. Bei Atmosphärendruck waren gar keine Banden sichtbar im Ultraviolett, aber im sichtbaren Teil erschien das Swanspektrum mit den Banden η (nach Eder[5]) 3873—3890, ζ 4315, ε 4325—4371, δ 4736, γ 5164, β 5634 und α 6188, also mit allen von Eder im Bunsenbrenner und Kohlenwasserstoff-Sauerstoffgebläse gefundenen Banden. Im Kohlebogen sind bekanntlich β, γ, δ und ε vorhanden.

Alle genannten Banden fanden Swan, Ångström und Thalén, Hasselberg und andere im Geißlerrohr.

Durch Aufnahmen des Geißlerröhrenspektrums habe ich mich überzeugt, daß auch hier der Intensitätsabfall in den Banden im Bogen viel geringer war, so daß die Banden alle ineinander laufen und dadurch das Bild ein ganz anderes wurde wie die Reproduktion von Eder[5]). Unter vermindertem Druck wurde das Swanspektrum relativ intensiver und schärfer. Am positiven Pol fehlte es vollkommen.

Ferner zeigten die Platten noch 2 nach Rot verlaufende Banden mit je 2 Doppelkanten. Je die erste der Doppelkanten hatte die Wellenlänge 4452,5, 4457,4 und 6158, 6160. Die letztere haben Konen und ich[6]) schon früher erhalten, sie ist im Atlas reproduziert. Bei

1) Deslandres, Ann. chim. phys. **15** (6), 5, 1888.
2) Ångström u. Thalén, Nova Acta Upsala **9**, 1875.
3) Watts, Phil. mag. **38** (4), 219, 1869.
4) P. Smyth, Phil. Trans. Edinb. **30**, 94.
5) A. S. Herschell, Phil. Trans. Edinb. **30**, 152.

1) Leving u. Dewar, Proc. roy. soc. London **30**, 152, 1880.
2) Secchi, C. R. **77**, 1873.
3) Deslandres u. d'Azambuja, C. R. **140**, 917, 1905.
4) Deslandres, C. R. **137**, 456, 1903.
5) Eder u. Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektroanalyse S. 22.
6) A. Hagenbach u. H. Konen, Atlas der Emissionsspektren, Verl. Fischer, Jena, Spektrum Nr. 231.

Atmosphärendruck waren sie unscharf, bei niederem Druck in Linien aufgelöst. Wahrscheinlich gehören sie dem Kupferoxyd an.

Die Wasserdampfbanden waren stets überall im Bogen nachweisbar, Stickstoff als Verunreinigung nur am positiven Pol.

Der Hauptunterschied der Emission an den beiden Polen bei vermindertem Druck ist also am positiven Pol das Kohlensäurespektrum und am negativen das Swanspektrum.

Kupferbogen in Leuchtgas.

In Leuchtgas brannte der Bogen schlecht; bei vermindertem wie bei Atmosphärendruck flackerte er stark hin und her und es war kaum möglich, die verschiedenen Teile des Bogens getrennt zu untersuchen, weil er immer erlosch. An der positiven Elektrode schied sich besonders bei Atmosphärendruck in großen Mengen Kohle ab, so daß sich an der Elektrode eine Kohlekruste bildete, was auf eine Zersetzung des Gases durch den Bogen hinwies. Hier zeigte sich gerade umgekehrt wie bei Luft und Kohlensäure, daß der Bogen nur bei kalter Elektrode stabil blieb; sowie die Pole heiß waren, war der Bogen gar nicht mehr zu unterhalten. Er brannte immer nur wenige Sekunden und dann mußte man die Elektroden sich abkühlen lassen.

Es ist möglich, daß bei höheren Netzspannungen der Bogen stabiler wird, und daß es dann möglich wird, Unterschiede an den Elektroden festzustellen. Bei jedem Druck fand ich stark ausgeprägt das Swanspektrum im sichtbaren Teil, wie es im Bunsenbrenner vorkommt. Außerdem war ein aus diffusen mir unbekannten Banden bestehender Grund zwischen 2350 und 2800 vorhanden. Bei Verminderung des Druckes auf ca. $^1/_3$ Atmosphäre trat eine intensive Bande im Ultraviolett auf. Sie erstreckte sich von 2290 bis 2350 und hat eine (vielleicht 4) schwache Kante bei etwa 2350. Auf den meisten Aufnahmen war die Kante nicht zu sehen. Die Bande besteht aus 2 Serien, die durcheinander laufen und in dem genannten Intervall fallen die Linien zweimal ineinander und einmal zwischeneinander, so daß die Gesamtansicht der Bande zwei scheinbare Intensitätsmaxima und ein Minimum aufweist.

Diese bis jetzt unbekannte Bande erschien bis etwa 1 cm, darunter verschwand sie. Sie war bei etwa 20 cm am stärksten.

Bei einem Druck unter 10 cm trat die vierte Deslandressche Gruppe des Kohlenoxydspektrums auf, das nach Deslandres[1]) dem Kohlenstoff zuzuschreiben ist. Sie sah ebenso aus wie auf den Aufnahmen in der Kohlensäureatmosphäre; die Intensitätsminima fehlten und die Banden liefen alle ineinander, die Intensitätsabnahme längs der Serien war gering.

Ziemlich stark waren im Leuchtgas Cyan, aber relativ schwach Wasser.

Im Kupferspektrum war nichts Auffallendes.

Kupferbogen in Wasserdampf.

Um den Kessel mit Wasserdampf von vermindertem Druck zu füllen, füllte ich ein kleines Quantum Wasser ein und evakuierte mit der Pumpe. Durch intensives Verdampfen wurde die Luft aus dem Kessel vertrieben. Der Bogen brannte in Wasserdampf unter vermindertem Druck (1 bis 2 cm) sozusagen gar nicht. Ich mußte ihn immer wieder durch Berühren der Pole entzünden und konnte die Teile des Bogens nicht getrennt photographieren. Die Aufnahmen zeigten nur die Kupferlinien. Die Wasserbanden waren nicht darin enthalten. Bei höheren Drucken habe ich keine Aufnahmen gemacht. Es wird zuerst notwendig sein, die Bedingungen für die Stabilität des Bogens festzustellen.

Schluß und Zusammenfassung.

Aus den spektroskopischen Untersuchungen des Kupferbogens in Atmosphären von Luft, Kohlensäure, Leuchtgas und Wasserdampf bei variierendem Druck von einer Atmosphäre abwärts geht hervor, daß die Entladungsform vom Drucke stark abhängt, daß mit abnehmendem Druck die Glimmentladung immer mehr überhand nimmt.

Wir bemerken in den Spektren auch die Bestandteile der umgebenden Atmosphäre. Es findet sozusagen ein Gleichgewicht statt zwischen der Leitung der Elektrodensubstanz und der der Atmosphäre, und dieses Gleichgewicht hängt ab von der Elektrodensubstanz und der Art der Atmosphäre und deren Druck und Temperatur. Selbst bei Atmosphärendruck finden wir ja in Luft Cyan, Wasserdampf und die dritte Bandengruppe des Stickstoffs.

Ferner stellt sich heraus, daß an den beiden Polen die Spektren verschieden sind. Am negativen Pol erscheint vor allem das Spektrum des Kupfers mit allen Bogen- und Funkenlinien, während das Spektrum der Atmosphäre am positiven (heißen) Pol eher auftritt.

Aber auch am negativen Pol finden wir unter vermindertem Druck atmosphärische Bestandteile, jedoch teilweise andere wie am positiven; so zeigt der Bogen in Kohlensäure am positiven Pol das Kohlenoxyd, am negativen das Swanspektrum und zwar bei passender Wahl des Druckes vollkommen getrennt.

Andere Bestandteile wiederum wie Cyan und Wasserstoff finden sich im ganzen Bogen. In allen hier untersuchten Fällen waren die

1) Deslandres, Ann. chim. phys. 15 (6), 5, 1888.

Atmosphären aus mehreren Gasen zusammengesetzt; im leuchtenden Bogen findet also eine gewisse Trennung der Bestandteile statt, wobei natürlich auch chemische Reaktionen bei der hohen Temperatur vor sich gehen.

Bei lang ausgezogenem Bogen ist die Mitte meistens dem positiven Pol sehr viel ähnlicher wie dem negativen. Man wird vor allem zwei Ursachen für die Verschiedenheit der Spektra an den beiden Polen verantwortlich machen müssen, einmal die elektrischen Verhältnisse und dann auch die dadurch bedingten thermischen.

Die Methode des Bogens unter vermindertem Druck scheint mir verschiedene Vorteile beim Studium der Gasspektra zu bieten. Man kann den Bogen mit sehr viel größerer Stromstärke betreiben wie die Geißlerröhren und erhält dadurch größere Lichtintensitäten. Man kann Gasspektra bei niederen Spannungsdifferenzen der Elektroden im Gleichstrom erhalten. Schon diese Untersuchung hat gezeigt, daß neue bis jetzt unbekannte Banden zum Vorschein kommen, und die Vermutung liegt nahe, daß noch weitere gefunden werden mit Änderung der Atmosphäre.

Basel, Physikalisches Institut.

(Eingegangen 14. August 1909.)

Über den Verlauf der Dispersion im elektrischen Spektrum des Äthylalkohols.

Von A. R. Colley[1]).

Die bei der Untersuchung der Dispersion im elektrischen Spektrum des Wassers erhaltenen Resultate beweisen, daß sich im Gebiete der langen elektrischen Wellen ein kompliziert gebautes Spektrum beobachten läßt, welches seiner Natur nach mit dem Lichtspektrum identisch erscheint.

Es ist zu erwarten, daß solche Eigenschaften des elektrischen Spektrums, welche bis jetzt allein an dem Beispiele des Wassers studiert worden sind, eine viel allgemeinere Bedeutung haben und deswegen bei einer analogen Untersuchung auch für eine Reihe anderer Flüssigkeiten sich feststellen lassen würden. Durch die Wahl von Flüssigkeiten mit möglichst verschiedenen „optischen" (im erweiterten Sinne) Eigenschaften (Flüssigkeiten mit verschiedenen Dielektrizitätskonstanten, solche, die eine starke und solche, die keine Absorption besitzen) konnte zudem die Brauchbarkeit der benutzten Methode in verschiedenen Fällen ihrer Anwendung geprüft und studiert werden. Es wurden deswegen zur Untersuchung folgende Flüssigkeiten gewählt:

1. Äthylalkohol (D.K. 26 besitzt starke anomale Absorption).
2. Benzol (D.K. $2{,}29_{t=18{,}0}$ besitzt keine merkliche Absorption).
3. Toluol (D.K. $2{,}39_{t=17{,}0}$ besitzt keine merkliche Absorption).
4. Azeton (D.K. 21 besitzt keine merkliche Absorption).

In der vorliegenden Abhandlung sind die Resultate der Untersuchung im elektrischen Spektrum des Äthylalkohols enthalten. Wegen der häufigen Zitate aus den beiden früheren Abhandlungen[2]) sollen dieselben hier kurz mit Abhandlung I, Abhandlung II entsprechend bezeichnet werden.

Zur Theorie der Messungen in absorbierenden Flüssigkeiten.

Wegen der starken Absorption des Äthylalkohols ließ sich bei den zuerst gewählten Dimensionen der Versuchsanordnung erst die Lage des ersten Knotens zuverlässig bestimmen; nachdem die Länge der Brücke zwischen dem P. S. und S. S. bis auf 2 cm vergrößert wurde (Anordnung II), konnte auch die Lage des zweiten und dritten Knotens bestimmt werden.

Zwecks einer möglichst exakten Messung des Brechungsindex erschien es deswegen erwünscht, denselben nicht aus der relativen Lage der Knoten, sondern aus der Lage des ersten und zweiten Knotens relativ zur Grenze der Flüssigkeit zu bestimmen. Gewichtige Gründe sprechen aber gegen eine derartige Meßmethode in einer absorbierenden Flüssigkeit.

1. Bei Bestimmungen des Brechungsindex aus der Lage der Knoten relativ zur Grenze der Flüssigkeit ist es erforderlich, die Größe der Brückenverkürzung zu kennen. Diese Größe kann aber nicht aus Messungen in einer nicht absorbierenden Flüssigkeit ohne weiteres bestimmt werden. In einer Flüssigkeit mit einem ungefähr gleichen Brechungsindex, die aber Absorption bezitzt, ist die Brückenverkürzung eine andere, dabei ändert sich ihre Größe mit ändernder Absorption. Bei den Messungen des Brechungsindex aus der relativen Lage der Knoten fällt aber die Brückenverkürzung aus.

2. Der Abstand des ersten Knotens von der Flüssigkeitsgrenze + Brückenverkürzung ist nicht der Länge der Halbwelle gleich und

1) Unter Mitwirkung des Verfassers aus dem Russischen übersetzt aus dem Journ. der Russ. physik. Ges. **40**, 120, 1908 von Dr. Regener (Berlin).

2) Diese Zeitschr. **10**, 329, 1909; **10**, 471, 1909. Es ist folgender Druckfehler der Abh. II zu korrigieren: S. 478 Spalte 2 oben soll heißen

$$\frac{\frac{\lambda_1}{2}+a.}{\left(\frac{\lambda_1}{2}+\eta_2\right)+a} \qquad \frac{}{2\left(\frac{\lambda_1}{2}+\eta_2\right)+a.}$$

kann sich von derselben bedeutend (um mehrere Prozente) unterscheiden. Zu einer genaueren Berechnung des Brechungsindex ist die (angenäherte) Kenntnis des Brechungsindex und des Absorptionskoeffizienten erforderlich [1]).

Aus diesen Bemerkungen scheint hervorzugehen, als hätte die Methode der Bestimmung des Brechungsindex aus der relativen Lage der Knoten alle Vorzüge. Nichtsdestoweniger zeigten es die Messungen, daß die Anwendung dieser Methode bei Messungen in Äthylalkohol zu vollkommen falschen Resultaten führt und deswegen aufzugeben ist. Die Ursache davon liegt darin, daß Äthylalkohol eine anomal absorbierende Flüssigkeit ist. In diesem Falle ist aber die Größe des Brechungsindex, wie es bei Gelegenheit der Untersuchung im elektrischen Spektrum des Wassers gezeigt worden ist, von der zeitlichen Dämpfung der Schwingungen in hohem Maße abhängig.

Da bei den nacheinander folgenden Knotenlagen der Brücke die zeitliche Dämpfung im allgemeinen verschieden ist, so ist aus diesem Grunde, wie an anderer Stelle ausführlich erläutert wurde (Abhandlung II, S. 477), die Bestimmung des Brechungsindex aus der relativen Lage der Knoten im Prinzip unrichtig, im Falle und unter den Bedingungen der Messungen in Äthylalkohol erscheint diese Methode auch praktisch unbrauchbar. Daß das wirklich so ist, wird aus den weiter mitgeteilten Messungen mit voller Klarheit folgen, an dieser Stelle bleiben wir bei dieser Bemerkung nur deswegen stehen, um darauf hinzuweisen, daß man darauf angewiesen ist, den Brechungsindex aus der Lage des ersten und zweiten Knotens relativ zur Grenze der Flüssigkeit zu bestimmen. Es sollen also die Fehler, welche durch die in Punkt 1 und 2 angeführten Gründe bedingt sind, berechnet und nach Möglichkeit korrigiert werden. Diese Berechnung soll auf Grund der Theorie von Drude [2]) ausgeführt werden.

Es sei die Flüssigkeit für eine gegebene Schwingungsperiode durch den Brechungsindex „n" (angenäherte Größe) und den Absorptionskoeffizienten „k" charakterisiert. Damit die Entfernung zwischen den Knoten in der Flüssigkeit der halben Wellenlänge gleich sei, muß die Grenze der Flüssigkeit aus der Lage im wahren Knoten in Richtung des erregenden Systems auf die Größe $\Delta \lesssim \frac{\Delta}{2}$ verschoben werden, wo $\frac{\Delta}{2}$ die halbe Wellenlänge in Luft ist und Δ aus folgendem Ausdruck bestimmt ist:

$$\operatorname{tg} 2\pi\Delta = \frac{2nk}{n^2 + n^2k^2 - 1} \qquad (1)$$

Bei solcher Lage der Flüssigkeitsgrenze ist die Lage B_1 des ersten Knotens in der Flüssigkeit durch den Ausdruck gegeben

$$B_1 = \frac{\lambda}{2}[1 + \Delta' - \varphi'] + a, \qquad (2)$$

wo $\frac{\lambda}{2}$ die halbe Wellenlänge in Flüssigkeit ist, und „a" eine Konstante, deren Größe von der relativen Lage der Flüssigkeitsgrenze und des Nullpunktes des Maßstabes abhängig ist.

a) Das Produkt $\frac{\lambda}{2} \lesssim \varphi'$ ist die Brückenverkürzung, welche weiter durch δ bezeichnet werden soll. Für die Größe φ' folgt aus der Theorie von Drude folgender Ausdruck:

$$\operatorname{tg} 2\pi\varphi' = \frac{2\pi\zeta' \frac{l}{\lambda}}{1 + 2\pi\zeta' \frac{l}{\lambda}(\varkappa - \gamma')},$$

wo $\gamma' = \frac{\gamma}{2\pi}$ und γ das logarithmische Dekrement der Schwingungen ist. Für die Schwingungen seines Systems findet Drude experimentell $\gamma' = 0{,}024$. Die Schwingungen des hier gebrauchten Systems haben überhaupt eine geringere Dämpfung; es soll daher für γ' 0,02 gesetzt werden (für unsere Zwecke genügt eine nur angenäherte Kenntnis der Größe γ'), k wird aus dem Ausdruck $e^{-2\pi k \frac{B}{\lambda}}$ bestimmt. Für kurze Brücken, und um so mehr für Brücken, die die Form einer Platte haben, ist $2\pi\zeta' \frac{l}{\lambda}$ eine kleine Größe. In erster Annäherung kann daher für eine nicht absorbierende Flüssigkeit ($k = 0$), indem wir $2\pi\varphi'$ statt $\operatorname{tg} 2\pi\varphi'$ setzen und das Glied $2\pi\zeta' \frac{l}{\lambda}\gamma'$ gegen 1 vernachlässigen, geschrieben werden

$$2\pi\varphi' = 2\pi\zeta' \frac{l}{\lambda}$$

und die Brückenverkürzung

$$\delta = \frac{\lambda}{2} \lesssim \varphi = \frac{\zeta' l}{2}.$$

Die Größe δ ist aus Messungen in der nicht absorbierenden Flüssigkeit Azeton gefunden

1) Zwar ist auch bei Bestimmungen des Brechungsindex aus der relativen Lage der Knoten die Entfernung zwischen den Knoten, gemäß der Theorie von Drude, nur in dem Falle der halben Wellenlänge gleich, falls die Phasenverschiebung bei Reflexion an einer absorbierenden Flüssigkeit 180° beträgt, wozu seinerseits die Kenntnis des Brechungsindex und des Absorptionskoeffizienten erforderlich ist. Wie aber weiter gezeigt wird, begeht man im Falle, wo die Flüssigkeitsgrenze in den wahren Knoten gelegt wird, der Einfluß der Absorption also vernachlässigt wird, einen verhältnismäßig geringen Fehler.

2) P. Drude, Abh. d. Sächs. Ges. d. Wiss. **23**, 62, 1896.

worden, die durch einen Brechungsindex, der demjenigen des Äthylalkohols nahe steht, charakterisiert ist. Für die Entfernung von 10 mm zwischen den Drähten ist δ ungefähr gleich; 2 mm — eine Größe, die sich mit der Veränderung der Wellenlänge nur sehr wenig ändert. Wird für λ die Größe 180 mm gesetzt (vgl. die Beobachtungsprotokolle unten), so ist $2\pi\zeta'\frac{l}{\lambda}=0{,}14$, die Größe φ' in einer absorbierenden Flüssigkeit wird daher aus dem Ausdruck

$$\operatorname{tg} 2\pi\varphi' = \frac{0{,}14}{1+0{,}14(k-0{,}02)}$$

gefunden.

k ist nach den Messungen von Drude[1]) für $\frac{\Delta}{2}=375$ mm 0,21 (Konzentration 99,5 Proz.), nach den Messungen von O. v. Baeyer[2]) für $\frac{\Delta}{2}=350$ mm 0,22 ($t=17{,}0$, Konzentration 99,5). Angenommen, $k=0{,}2$ berechnet sich $\varphi'=0{,}0215$ und $\delta_1=1{,}94$ mm. Die Absorption mit dem Koeffizienten 0,2 hat also die Brückenverkürzung um 0,06 mm verändert.

Die Messungen in Alkohol zeigen, daß eine bedeutende Absorption im ganzen untersuchten Spektrumintervall vorhanden ist, obgleich für bestimmte Schwingungsperioden sich, wie es scheint, ein Absorptionsmaximum beobachten läßt. Nehmen wir an, daß die Absorption sich so weit verändert hat, daß k bis zur Größe 0,3 zugenommen hat, was wahrscheinlich einer bedeutenderen als der tatsächlich vorkommenden Absorptionsänderung entspricht.

In diesem Falle ist die Brückenverkürzung $\delta_2=1{,}92$ mm, d. h. bei der Veränderung der Absorption um 50 Proz. verändert sich die Brückenverkürzung um 0,02 mm. Es kann daher bei kleiner Entfernung zwischen den Drähten und bei Plattenbrücken, d. h. unter den Bedingungen dieser Untersuchung nicht nur die Veränderung der Brückenverkürzung infolge der Absorptionsveränderung vernachlässigt werden, sondern dieselbe der Brückenverkürzung, die aus den Messungen in einer nicht absorbierenden Flüssigkeit gefunden worden ist, gleich gesetzt werden.

b) Es soll der Ausdruck (2) in der Form geschrieben werden

$$\frac{B_1+\delta-a}{1+\Delta'}=\frac{\lambda}{2},$$

für Δ' erhält man nach Drude

$$\operatorname{tg} 2\pi\Delta' = k\,\frac{n^2(1+k^2)+1}{n^2(1+k^2)-1}.$$

Zur Berechnung von Δ' ist eine genauere Kenntnis von „k" und eine nur sehr annähernde von „n" erforderlich, bei großen „n" kann überhaupt $\operatorname{tg} 2\pi\Delta'=k$ gesetzt werden, für $k=0{,}2$ und $n=4{,}00$ ist $\Delta'=0{,}035$ und

$$\frac{\lambda}{2}=\frac{B_1+(\delta-a)}{1+0{,}035}.$$

Dieser Ausdruck ist für die Berechnung von $\frac{\lambda}{2}$ zu gebrauchen, falls bei der Einstellung der Flüssigkeitsgrenze die Phasenverschiebung bei Reflexion an einer absorbierenden Flüssigkeit berücksichtigt worden ist. In Wirklichkeit wurden die Messungen bei der Lage der Flüssigkeitsgrenze im wahren Knoten ausgeführt. Die Größe, um die $\frac{\lambda}{2}$ bei einer derartigen falschen Lage der Flüssigkeitsgrenze vom richtigen Werte von $\frac{\lambda}{2}$ sich unterscheidet, kann leicht auf folgende Weise gefunden werden. Bei der Lage der Flüssigkeitsgrenze im wahren Knoten begeht man in der Einstellung der Flüssigkeitsgrenze einen Fehler, der $\Delta\times\frac{\Delta}{2}$ gleich ist, wo Δ aus dem Ausdruck

$$\operatorname{tg} 2\pi\Delta = \frac{2nk}{n^2+n^2k^2-1}$$

gefunden wird.

Für $n=4{,}0$ und $k=0{,}2$ ist $\Delta=0{,}016$ und für $\frac{\Delta}{2}=400$ mm ist $\Delta\times\frac{\Delta}{2}=6{,}4$ mm. Um zu bestimmen, welcher Fehler bei einer solchen Abweichung der Lage der Flüssigkeitsgrenze von der richtigen bei Bestimmung von $\frac{\lambda}{2}$ begangen wird, wurde eine experimentelle Bestimmung der Änderung von $\frac{\lambda}{2}$ in Abhängigkeit von der Änderung der Lage der Flüssigkeitsgrenze vorgenommen, und es ist gefunden worden, daß die Änderung von $\frac{\lambda}{2}$ bei der Verschiebung der Flüssigkeitsgrenze um 1 mm für $\frac{\Delta}{2}=462{,}7$ mm 0,058 mm, für $\frac{\Delta}{2}=321{,}4$ 0,062 mm ist; im Mittel also 0,06 gesetzt werden darf. Man muß daher bei der Lage der Flüssigkeitsgrenze im wahren Knoten zu der aus Formel (3) berechneten Größe für $\frac{\lambda}{2}$ $6{,}4\times0{,}06=0{,}4$ mm hinzufügen[1]). Der Ausdruck,

1) P. Drude, Abh. d. Sächs. Ges. d. Wiss. **23**, 166, 1896.

2) O. v. Baeyer, Ann. d. Phys. **17**, 30, 1905.

1) Dieser Wert, welcher für $\frac{\Delta}{2}=400$ mm, $k=0{,}2$ und

nach welchem die unten angeführten Resultate berechnet worden sind, ist daher für den ersten Knoten

$$\frac{\lambda'}{2} = \frac{B_1 + (\delta - a)}{1 + 0{,}035} + 0{,}4, \qquad (4)$$

für den zweiten

$$\frac{\lambda''}{2} = \frac{B_2 + (\delta - a)}{2 + 0{,}035} + 0{,}2. \qquad (4_1)$$

Die Größe $\delta - a$ ist aus Messungen in Azeton bestimmt worden, welche für den Teil des Spektrums ausgeführt worden sind, wo diese Flüssigkeit keine Absorption besitzt.

Bei Änderung von k bis zur Größe 0,3 hätte man

$$\frac{\lambda'}{2} = \frac{B_1 + (\delta - a)}{1 + 0{,}057} + 0{,}6,$$

d. h. die Folge der Veränderung der Absorption um 50 Proz. wäre die Veränderung von $\frac{\lambda'}{2}(n)$ bis 1,0 — 1,5 Proz.

Wären die hier besprochenen Korrektionen nicht eingeführt worden und die Einstellung der Flüssigkeitsgrenze im wahren Knoten vorgenommen, so wären die aus der Beobachtung des ersten Knotens erhaltenen absoluten Größen von n bei $k = 0{,}2$ mit einem Fehler von ungefähr 3 Proz., bei $k = 0{,}3$ mit einem Fehler von ungefähr 4,5 Proz. behaftet.

Resultate der Messungen.

Die Messungen sind in einem Troge von $350 \times 70 \times 90$ mm³ ausgeführt worden [1]). Bei allen Messungen ist die Flüssigkeitsgrenze in den wahren Knoten gelegt worden, die Vorderwand des Troges hatte eine Dicke von 1,5 mm. Der Maßstab, an welchem die Ablesungen bei Verschiebung der Brücke in der Flüssigkeit gemacht worden sind, hatte eine unveränderte Lage relativ zur Grenze der Flüssigkeit, es wurde aufmerksam darauf geachtet, daß die Montierung der beweglichen Brücke von einer Messung zur andern unverändert blieb.

Die Untersuchung ist in Alkohol (von Kahlbaum) ausgeführt worden, dessen Prozentgehalt am Anfang der Versuche 99,5 war. Im Laufe der Messungen sank allmählich die Konzentration des Alkohols und wurde von Zeit zu Zeit durch Messungen des spezifischen Gewichtes bestimmt. Im Laufe der Messungen ist die Alkoholportion mehrfach erneuert worden. Über den Einfluß, den eine wechselnde Konzentration des Alkohols auf die Resultate haben kann, werden unten Angaben gemacht werden. Die Resultate sind in den unten angeführten Tabellen I und II zusammengestellt. In der ersten Kolumne sind die halben Wellenlängen $\left(\frac{\Lambda}{2}\right)$ in Luft gegeben, in der zweiten $\left(\frac{\lambda'}{2}\right)$ die halben Wellenlängen in Äthylalkohol aus den Lagen des ersten Knotens auf Grund der Formel (4) berechnet; in der dritten (t) die Temperatur der Flüssigkeit; in der vierten und fünften (n'_t) ($n'_{17,0}$) die Brechungsindizes bei der Temperatur t, und die auf 17,0° reduzierten, berechnet mit Hilfe von $\frac{\lambda'}{2}$; in der sechsten $\left(\frac{\lambda''}{2}\right)$ die halben Wellenlängen in Alkohol aus den Lagen des zweitens Knotens nach Formel (4_1) berechnet; in der siebenten und achten (n''_t) ($n''_{17,0}$) die Brechungsindizes bei der Temperatur t und die auf 17,0° reduzierten berechnet mit Hilfe von $\frac{\lambda''}{2}$, in der neunten Nummer, welche die Reihenfolge, in der die Messungen ausgeführt worden sind, angibt; in der zehnten Bemerkungen zu den Messungen.

Die Reduktion der Größen n_t auf $n_{17,0}$ erfolgte nach Formel

$$n_t = n_{17,0} - 0{,}0147\,(t - 17{,}0),$$

berechnet auf Grund der Messungen von Ratz [1]).

Die Lagen des ersten, zweiten und dritten Knotens wurden gewöhnlich aus 20—30 aufeinanderfolgenden Messungen bestimmt, geordnet in Serien zu 10 Beobachtungen. Der Unterschied zwischen den Mittelwerten der einzelnen Serien überstieg selten 1 mm. Eine einzelne Bestimmung von „n" ist daher auf ungefähr 1 Proz. genau.

Die angeführten Messungen bestimmen die Kurve 1, die sich auf die Größen $n'_{17,0}$ bezieht; die Beobachtungspunkte sind für die Werte von $n'_{17,0}$ mit $\times$, für die Werte $n''_{17,0}$ mit $\diamond$ bezeichnet und in derselben Folge wie in der Tabelle numeriert.

Die erhaltenen Resultate zeigen, daß das elektrische Spektrum des Äthylalkohols, einer Flüssigkeit mit starker anomaler Absorption, seiner Natur nach mit dem Lichtspektrum identisch ist.

Aus den in der Tabelle angeführten Bemerkungen ist zu ersehen, daß die Absorption sich im Spektrum merklich verändert, wobei das Maximum derselben im unteren Teile der Bande liegt, dasselbe ist auch bei Messungen im elektrischen Spektrum des Wassers beobachtet worden.

$n = 1{,}000$ richtig ist, ist für das ganze untersuchte Intervall des Spektrums beibehalten worden.

1) Die Herstellung solcher Tröge bereitete anfangs einige Schwierigkeiten, da Äthylalkohol, Benzol, Toluol usw. zu den besten Lösungsmitteln gehören. Als vollkommen befriedigend und für alle (außer Wasser) untersuchten Flüssigkeiten brauchbar erwiesen sich Tröge, welche mit Wasserglas aus Glasscheiben zusammengestellt waren.

1) F. Ratz, Z. f. physik. Chemie **19**, 109, 1896.

Bestimmungen der Lagen des zweiten Knotens sind nur für einige Punkte vorgenommen, und die erhaltenen Größen von $n'_{17,0}$ unterscheiden sich von den Größen $n'_{17,0}$ bedeutend. Der gegebenen Erklärung gemäß ist diese Differenz auf den Unterschied der zeitlichen

Tabelle I.

Anordnung II: Entfernung zwischen den Drähten $d = 10$ mm.

	$\frac{\lambda'}{2}$	$\frac{\lambda'}{2}$	t	$n't$	$n'_{17,0}$	$\frac{\lambda''}{2}$	$n''t$	$n''_{17,0}$	Nr.	Anmerkung
1	462,72	99,31	17,5	4,659	4,666	—	—	—	26	
2	456,35	101,21	18,5	4,509	4,531	—	—	—	25	
3	448,38	102,41	15,0	4,378	4,349	—	—	—	27	Der Knoten schwächer als für die umgebenden Punkte.
4	442,70	97,21	14,0	4,554	4,511	97,24	4,553	4,510	24	
5	435,00	94,93	15,4	4,582	4,558	95,61	4,550	4,526	23	
6	429,02	91,42	19,0	4,693	4,722	—	—	—	30	
7	426,50	92,07	16,0	4,632	4,617	91,92	4,639	4,624	22	
8	418,60	92,39	15,0	4,531	4,512	—	—	—	21	
9	411,64	92,55	16,5	4,447	4,440	91,76	4,486	4,479	19	
10	398,22	92,86	15,2	4,288	4,262	—	—	—	11	
11	392,13	93,66	19,0	4,187	4,216	—	—	—	20	
12	388,36	91,74	14,5	4,233	4,196	—	—	—	29	
13	376,72	92,68	15,5	4,064	4,042	—	—	—	28	
14	375,44	93,78	18,0	4,003	4,018	—	—	—	12	
15	373,22	94,14	17,8	3,951	3,954	—	—	—	18	Beob. unsicher wegen starker Absorption.
16	370,25	94,89	17,0	3,901	3,901	—	—	—	32	2 Knoten kaum bemerkbar.
17	368,54	96,06	16,0	3,836	3,821	—	—	—	16	1 Knoten schwer zu beobachten.
18	363,28	92,61	15,4	3,922	3,898	—	—	—	17	
19	358,30	89,41	18,0	4,007	4,022	—	—	—	14	Absorp. sehr stark, der erste Knoten unsicher.
20	354,23	84,60	16,0	4,187	4,172	84,33	4,201	4,186	15	Erster Knoten deutlich, zweiter schwach.
21	349,33	79,53	15,5	4,392	4,370	79,10	4,616	4,394	31	4 Knoten bemerkbar.
22	344,00	80,00	18,0	4,300	4,315	79,68	4,316	4,331	13	
23	334,68	79,43	20,0	4,213	4,257	80,14	4,176	4,220	5	
24	332,00	79,32	18,0	4,185	4,200	76,94	4,314	4,329	1	
25	328,00	79,83	19,0	4,108	4,137	—	—	—	7	
26	325,87	78,83	16,0	4,134	4,119	—	—	—	6	
27	321,40	76,16	19,0	4,220	4,264	—	—	—	9	
28	319,00	74,53	18,5	4,280	4,302	73,25	4,355	4,377	8	
29	317,00	73,34	18,0	4,322	4,337	—	—	—	2	
30	311,00	72,03	17,5	4,318	4,325	—	—	—	4	
31	306,64	72,07	17,5	4,255	4,232	71,01	4,318	4,325	3	
32	300,00	71,82	16,0	4,177	4,162	—	—	—	10	

Tabelle II.

Anordnung II, $d = 10$ mm, Kohle zwischen den Drähten des erregenden Systems.

	$\frac{\lambda'}{2}$	$\frac{\lambda'}{2}$	t	$n't$	$n'_{17,0}$	$\frac{\lambda''}{2}$	$n''t$	$n''_{17,0}$	Nr.	Anmerkung
1	443,02	98,57	16,0	4,494	4,479	97,27	4,555	4,540	13	Deutliche Beob.
2	438,02	99,36	16,0	4,408	4,383	97,19	4,507	4,492	14	Erster Knoten deutlich, zweiter schwer zu beobachten.
3	432,60	94,73	17,0	4,566	4,566	95,47	4,531	4,531	15	
4	427,68	93,06	15,5	4,595	4,573	93,18	4,589	4,567	10	Deutliche Beob.
5	424,92	90,73	16,8	4,683	4,680	92,71	4,583	4,580	12	Sehr deutliche Beob.
6	420,55	90,22	18,3	4,663	4,682	91,61	4,591	4,610	11	Deutliche Beob.
7	395,64	89,73	18,3	4,409	4,428	87,34	4,529	4,548	1	
8	375,72	86,50	14,3	4,344	4,305	—	—	—	2	Deutliche Beob.
9	368,68	86,39	16,6	4,267	4,261	82,75	4,455	4,449	4	Absorpt. stark, zweiter Knoten schwer zu beobachten.
10	362,78	87,31	15,0	4,155	4,136	—	—	—	3	Absorpt. sehr stark, zweiter Knoten unmerklich.
11	357,46	86,37	16,0	4,138	4,123	82,90	4,312	4,297	9	Beob. im zweiten Knoten unsicher.
12	355,16	83,83	17,0	4,234	4,234	—	—	—	8	
13	346,40	79,20	15,0	4,374	4,355	78,03	4,438	4,419	5	Beob. nicht sehr deutlich.
14	344,78	77,01	16,5	4,477	4,470	—	—	—	6	Deutliche Beob.
15	330,76	77,60	17,0	4,249	4,249	75,90	4,358	4,358	7	Sehr deutliche Beob.

Dämpfung von Schwingungen bei Messungen im ersten und zweiten Knoten zurückzuführen. Um zu entscheiden, in welcher Richtung die Dämpfung sich in diesem Falle verändert, wurde eine zweite Messung der Dispersionskurve vorgenommen für Schwingungen, deren Dämpfung künstlich vergrößert war. Zu diesem Zwecke wurde bei der Anordnung II zwischen den Drähten des Primärsystems (in Petroleum) ein Stück Kohle hineingebracht, so wie es in Abhandlung I, S. 338 beschrieben ist (vergl. auch Abhandlung II, S. 476). Die Resultate sind in Tabelle II enthalten.

Die mit * bezeichneten Größen $n'_{17,0}$ bestimmen die Kurve II[1]), die Größen $n''_{17,0}$, bezeichnet mit ⊙, bestimmen die Kurve III. Aus dem Vergleich der Kurven I und II geht hervor, daß die Dispersionsbanden der Kurve II, welche der größeren Dämpfung entspricht, weniger ausgeprägt erscheinen und relativ zu den entsprechenden Banden der Kurve I in Richtung der kürzeren Wellen verschoben sind. Dasselbe ist auch bei Messungen im Wasserspektrum beobachtet worden. Von Interesse ist der Teil der Kurve III für die Punkte Nr. 1 bis Nr. 11, hier sind $n''_{17,0}$ für verschiedene, aber benachbarte Schwingungsperioden bald bedeutend größer, bald kleiner als die Größen $n'_{17,0}$, dabei sind aber die $n''_{17,0}$ so angeordnet, daß sie die Kurve III bestimmen, die ihrer Form nach den Kurven I und II analog ist, und relativ zu der Kurve II ebenso verschoben ist, wie es die Kurve II relativ zu der Kurve I ist.

Wir gelangen also zum Schluß, daß den aus der zweiten Knotenlage bestimmten Brechungsindizes eine größere Dämpfung entspricht. Aus dem Vergleich der relativen Werte von $n'_{17,0}$ und $n''_{17,0}$ kann, wie leicht zu sehen ist, darauf geschlossen werden, welchem Teile der Kurve der Beobachtungspunkt angehört, solche Beobachtungen können also bis zu einem gewissen Grade zur Deckung der Lücken in den Messungen dienen; auf Grund solcher Überlegungen sind die Banden „3" und „4" gezeichnet, ohne den Messungen von $n''_{17,0}$ für die Punkte Nr. 23 und Nr. 24 der Tabelle I könnte die Kurve direkt von Punkt Nr. 22 auf den Punkt Nr. 23 gezogen werden.

Die Gesamtheit der angeführten Messungen beweist, wie es uns scheint, die Richtigkeit der oben ausgesprochenen Behauptung über die Ursachen der Unterschiede in den Größen $n'_{17,0}$ und $n''_{17,0}$.

Nichtsdestoweniger erübrigt es sich vielleicht nicht, noch folgenden Versuch anzuführen.

Für $\frac{\Lambda}{2} = 369\,38$ wurde die Lage des ersten Knotens in Luft „a_1" und des zweiten „a_2" bestimmt, zwischen dem ersten und dem zweiten Knoten in Luft konnte im Bauche der elektrischen Kraft (zwischen den Drähten) ein runder flacher Ballon von einigen cm Durchmesser hineingebracht werden; der Ballon wurde 1. mit einer nicht absorbierenden Flüssigkeit, Azeton, 2. mit einer absorbierenden, Äthylalkohol, gefüllt, dabei verschob sich die Lage des zweiten Knotens um einige cm und war für den Fall 1 „a_2''", für den Fall 2 „a_2'''", die Größe $\frac{\Lambda}{2}$ blieb dabei unverändert (in Grenzen von 0,1—0,2 mm). Es wurden 4 Messungen von $n'_{17,0}$ bei folgenden Bedingungen ausgeführt: 1. Grenze der Flüssigkeit in a_1, 2. Grenze der Flüssigkeit in a_2, 3. Grenze der Flüssigkeit in a_2' zwischen dem ersten und zweiten Knoten in Luft der mit Azeton gefüllte Ballon, 4. Grenze der Flüssigkeit in a_2'' zwischen dem ersten und zweiten Knoten der mit Äthylalkohol gefüllte Ballon. Die Resultate der Messungen sind folgende:

Flüssigkeitsgrenze	$n'_{17,0}$[1])
a_1	4,300
a_1	4,186
a_2''	4,200
a_2	4,432

Beachtet man, daß, wie aus dem Vergleich der Kurven I und II folgt, für $\frac{\Lambda}{2} = 369$ mit steigender Dämpfung der Brechungsindex anwachsen muß, so kommt man zum Schlusse, daß für den Fall 2 die Schwingungen eine geringere Dämpfung haben als für den Fall 1; für den Fall 3 erscheint die Dämpfung nur wenig in Vergleich mit dem Fall 2 verändert, was auch verständlich ist, da Azeton keine Absorption besitzt; für den Fall 4 aber, welchem eine bedeutende Vergrößerung der Dämpfung in Vergleich zu den Fällen 2 und 3 entsprechen muß, weist der Versuch tatsächlich eine bedeutende Veränderung von $n'_{17,0}$ in der Richtung auf, wie aus dem Vergleich der Kurven I und II folgt.

Es sollen die erhaltenen Resultate mit den wenigen Messungen anderer Autoren verglichen werden. Solche sind die Messungen von Drude[2]) (Methode der Drahtwellen), der für $\frac{\Lambda}{2}$ ungefähr 1000 mm $n_{17,0} = 4,92$ und für $\frac{\Lambda}{2} = 373$ $n_{17,0} = 4,80$ bestimmt hat, und die

1) Die Kurven sind auf der Tafel VIII ersichtlich.

1) Die Messungen waren in wäßrigem Alkohol von 96,3 Proz. ausgeführt.

2) P. Drude, Abh. d. K. Sächs. Ges. d. Wiss. **23**, 41, 1896.

von Marx[1]), der für $\frac{\Lambda}{2} = 263$ $n_{17,0} = 4{,}543$ und für $\frac{\Lambda}{2} = 20$ mm $n_{17,0} = 2{,}966$ fand. Von diesen Angaben liegen nur die Messungen von Drude für $\frac{\Lambda}{2} = 373$ in dem von uns untersuchten Intervall des Spektrums; der Vergleich zeigt, daß der von Drude erhaltene Wert viel größer ist als derjenige, welcher das Resultat unserer Messungen ist. Die Ursache dieses so bedeutenden Unterschiedes ist darin zu sehen, daß Drude das „n" aus der relativen Lage der Knoten bestimmt hatte. In der Tat erhält man für Punkt Nr. 7 und Nr. 9 der Tabelle II, für welche die Lagen der zweiten Knoten bestimmt worden sind: den Brechungsindex aus der relativen Lage bestimmt für Punkt Nr. 7 $n_{17,0} = 4{,}678$ (statt $n_{17,0} = 4{,}428$) und für Punkt Nr. 9 $n_{17,0} = 4\,660$ (statt $n_{17\,0} = 4{,}261$), d. h. Größen, die mit denen von Drude viel besser übereinstimmen, von den richtigen aber sich nahezu um 9 Proz. unterscheiden.

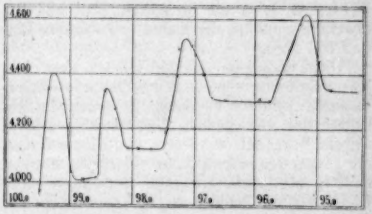
Diese Beispiele beweisen, daß die Bestimmung der Brechungsindizes aus der relativen Lage der Knoten inmitten eines Dispersionsbandes nicht nur zu vollkommen falschen absoluten Größen führt, sondern auch den Gang der Dispersionskurve bis zur Unkenntlichkeit verunstalten kann.

Über den Einfluß der wechselnden Konzentration des Äthylalkohols auf die Bestimmung des Brechungsindex.

Bei Messungen des Brechungsindex innerhalb der Dispersionsbanden, wo seine Größe von Punkt zu Punkt so stark variiert, war es schwierig, den Einfluß der wechselnden Konzentration des Alkohols auf die Resultate wahrzunehmen. Indes wies der Vergleich der erhaltenen Resultate auf die Existenz von höchst eigenartigen Unregelmäßigkeiten: es wurde z. B. für zwei Wellenlängen, die sich untereinander um 0,2—0,3 mm unterschieden, Größen der Brechungsindizes erhalten, unter denen der Unterschied bis auf 10 Proz. stieg, wobei für den konzentrierten Alkohol höhere Werte erhalten wurden. Die wahrscheinlichste Erklärung dieser Anomalien war doch in der wechselnden Konzentration des Alkohols zu suchen. Diese Umstände boten bei der Schätzung eines solchen Einflusses besondere Vorsicht und veranlaßten, denselben einer speziellen Untersuchung zu unterwerfen.

Der Versuch wurde folgendermaßen angestellt. Für eine bestimmte Wellenlänge in Luft ist der Brechungsindex gemessen worden und die Konzentration des Alkohols nach dem spezifischen Gewichte bestimmt, daraufhin wurden zum Alkohol nacheinander kleine gleiche Mengen Wasser zugeschüttet, wodurch seine Konzentration sich jedesmal ungefähr um 0,2 Proz. änderte.

Nach jedem Zuschütten des Wassers wurde der Brechungsindex gemessen und das spezifische Gewicht des Gemisches bestimmt. Die auf diese Weise erhaltenen Resultate sind in der nachstehenden Figur dargestellt. Die Messungen beziehen sich auf 14,0° und sind für $\frac{\Lambda}{2} = 368{,}0$ ausgeführt worden.



Die Kurve zeigt, daß bei Änderungen der Konzentration um 0,2 Proz. bis 0,3 Proz. der Brechungsindex sehr bedeutende (bis 10 Proz. und mehr) Änderungen erfahren kann, wobei, wie es aus der Figur zu ersehen ist, für eine bestimmte Konzentration ein sehr scharfes Ansteigen desselben und darauffolgendes Abnehmen sich beobachten läßt. Bei weiterer Veränderung der Konzentration bleibt die Größe des Brechungsindex unverändert, bis wieder eine Konzentration erreicht wird, bei der wieder scharfe Veränderungen in seiner Größe eintreten usw.

Dieses höchst unerwartete Resultat, das auf komplizierte und eigenartige molekulare Prozesse in Gemischen hinweist, veranlaßte zu einer eingehenden Untersuchung „der elektrischen Optik" der Gemische. Die Resultate einer solchen Untersuchung werden ausführlich veröffentlicht. An dieser Stelle soll nur bemerkt werden, daß bei einer analogen Untersuchung in Alkohol bei anderen Wellenlängen und bei anderer Temperatur (24,0° C) sich ebensolche „Buckel" im Brechungsindex beobachten lassen, die bei genau denselben Konzentrationen liegen. Die Absorption innerhalb der Buckel wird, wie es scheint, kleiner[1]).

1) E. Marx, Wied. Ann. **69**, 610, 1898.

1) Bedeutende Änderungen der Größe des Brechungsindex bei kleinen Änderungen der Konzentration des Äthylalkohols sind auch von Marx beobachtet worden (Wied. Ann. **68**, 616, 1898). Näher ist diese Erscheinung von ihm nicht untersucht worden.

Diese Tatsachen zwingen zu einer Revision des erhaltenen Beobachtungsmaterials, aus welchem diejenigen Messungen auszuschalten sind, die für Konzentrationen erhalten worden sind, welche innerhalb der „Buckel" liegen; als solche erwiesen sich entweder diejenigen, welche zu den ersten in der frischen Alkoholportion (erster Buckel) gehören, oder aber zu den späteren (zweiter Buckel). Nach einer derartigen Sortierung des Materials wurden die oben diskutierten Dispersionskurven gezeichnet, die also für Konzentrationen erhalten worden sind, welche zwischen dem ersten und zweiten Buckel liegen.

Da bei der Untersuchung der Dispersion die Bestimmung des spezifischen Gewichts des Alkohols nur von Zeit zu Zeit vorgenommen wurde, so fehlt die Sicherheit, daß alle Beobachtungspunkte der Kurve von solchem Einfluß frei sind.

Diese möglichen Mängel können aber nicht jene allgemeinen und für uns besonders interessanten Schlüsse berühren, zu denen die Resultate der vorliegenden Untersuchung führen, sowohl bezüglich der Natur und Eigenschaften der Dispersion in anomal absorbierenden Flüssigkeiten, als auch bezüglich der durch diese Eigenschaften bedingten Besonderheiten der Messungsmethode.

Wir beschränken uns also hier allein mit dem Hinweis auf diejenigen Umstände, welche (als allgemeine Regel) bei Messungen in Flüssigkeiten mit wechselnder Konzentration zu beachten sind.

Die Messungen unter den durch diese Umstände gebotenen Vorsichtsmaßregeln von Anfang an zu unternehmen, die bestenfalls nur in Einzelheiten den Gang der erhaltenen Dispersionskurven korrigieren könnten, fehlte uns die Möglichkeit.

(Eingegangen 12. August 1909.)

Ein Elektrometer mit freischwebendem Faden.

Von J. Elster und H. Geitel.

Im folgenden geben wir eine ausführliche Beschreibung des Elektrometers, das wir bei der vor kurzem in dieser Zeitschrift[1]) veröffentlichten photoelektrischen Untersuchung an polarisiertem Lichte mit Vorteil benutzt haben. Der große Vorzug des Behrens-Hankelschen Elektrometers, hohe Empfindlichkeit mit kleiner Kapazität zu vereinigen, hatte uns schon bald nach dem Bekanntwerden des Boysschen Verfahrens zur Herstellung feiner Quarzfäden auf den Gedanken gebracht, dies Instrument noch weiter zu vervollkommnen, indem wir das Goldblättchen durch einen leitend gemachten Quarzfaden ersetzten. Hierdurch wird in der Tat eine wesentlich gesteigerte Empfindlichkeit bei verminderter Kapazität erreicht, und als sich im Laufe der genannten Untersuchung ein Elektrometer von diesen Eigenschaften als notwendig erwies, griffen wir auf die früheren Erfahrungen zurück.

Der von uns gegebenen Anregung Folge leistend, hat die Firma Günther & Tegetmeyer in Braunschweig ein Instrument[1]) gebaut, das bei einer Kapazität von 2 cm für den Faden und dessen Träger eine Empfindlichkeit gewährleistet, die bis gegen 0,003 Volt pro Skalenteil gesteigert werden kann.

Seine Einrichtung und sein Gebrauch wird aus der beigegebenen Fig. 1 ersichtlich. Man erkennt sofort, daß das Instrument nichts anderes ist, als eine andere Form des Behrens-Hankelschen Elektroskops.

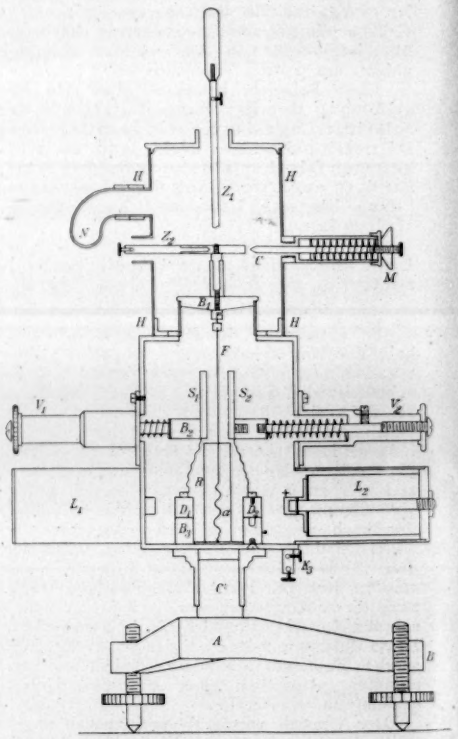


Fig. 1.

1) Diese Zeitschr. **10**, 457, 1909.

1) Die genannte Firma hat sich das Instrument schützen lassen.

Der feine, durch die Bernsteinplatte B_1 isolierte, metallisch bestäubte Quarzfaden F von etwa $^1/_{1000}$ mm Dicke befindet sich in einem elektrischen Felde, das durch die Aufladung der beiden prismatischen Metallbacken S_1 und S_2 erzeugt wird. S_1 ist mit dem negativen, S_2 mit dem positiven Pole je einer in das Instrument eingebauter Trockensäulen L_1 und L_2 in leitender Verbindung. Führt man über Z_2 dem Faden eine positive Ladung zu, so wird er sich nach links, bei einer Ladung entgegengesetzten Zeichens sich nach rechts bewegen. Die so erzeugte Ablenkung aus der Ruhelage kann mittels eines ca. 60fach vergrößernden Mikroskops mit Okularskala (160 Teilstriche von 0 bis $\pm$ 80) ihrer Größe nach bestimmt und mit Hilfe eines Normalelements oder für geringere Empfindlichkeiten einer vielpaarigen Akkumulatorenbatterie ausgewertet werden.

Um zu verhindern, daß der freie Faden sich allzuweit aus der Bildebene des Mikroskops entferne, sind zwei Schutzvorrichtungen angebracht. Wie man sieht, befindet sich sein unteres Drittel in dem metallischen und geerdeten Schutzrohre R, und außerdem ist die Bewegung seines freien etwas beschwerten Endes vermöge einer daran angekitteten schlaffen Spinnenfadenarretierung a nur innerhalb gewisser Grenzen möglich. Durch diese von den Herren Günther & Tegetmeyer erdachte Hemmung wird zugleich erreicht, daß das Instrument ohne eine Beschädigung des zarten Fadens versandt werden kann. Es scheint sogar möglich zu sein auch die Quarzfaden selbst durch einen Spinnwebfaden zu ersetzen, der durch metallische Bestäubung leitend gemacht ist. Wir haben ein Instrument dieser Art benutzt, ohne (innerhalb eines halben Jahres) irgend einen Nachteil gegenüber dem Quarzfadenelektrometer zu bemerken.

Die ganze Vorrichtung, einschließlich der ladenden Säulen ist in ein auf einem Dreifuß ruhendes Metallgehäuse eingebaut, das durch die Klemme K_3 geerdert wird.

Da alle im Innern dieses Gehäuses gelegenen Isolationen aus Bernstein gefertigt sind (in den Figuren mit B_1, B_2, B_3, B_4, bezeichnet), und zwischen dem zur Arretierung dienenden Spinnwebfaden und dem geladenen Systeme ein Stück nicht metallisch bestäubten Quarzfadens liegt, so ist die Isolation ganz vorzüglich; nur wenn das Instrument in sehr feuchten Räumen verwandt werden soll, ist von den angebrachten, in der Figur nur teilweise gezeichneten Natriumtrockenvorrichtungen N Gebrauch zu machen.

Auf das Gehäuse kann mit sanfter Reibung ein mit zwei engen Öffnungen versehener metallischer Schutzzylinder H aufgesetzt werden, der ebenfalls geerdet ist, sobald K_3 an die Erdleitung angeschlossen wird.

Man hat nun zwei Möglichkeiten den Elektrometerfaden mit dem Körper leitend zu verbinden, dessen Potential bestimmt werden soll. Steht dieser seitlich links, so schließt man die obere Öffnung mittels einer Metallkapsel und benutzt als Zuleitung den Stift Z_2, der auf den Fadenträger mittels eines Bajonettverschlusses aufgesteckt werden kann. Die Mutter M gestattet die Platinspitze C ganz sanft an den Platinkontakt E anzudrücken und so den Faden sicher zu erden.

Die geringste Drehung von M in entgegengesetzter Richtung hebt bei richtiger Einstellung die Erdung auf.

Das der Spitze C abgewandte Ende von Z_2 geht frei durch ein zylindrisches Ansatzrohr von etwa 15 cm Länge (in der Figur kürzer gezeichnet) und trägt an seinem Ende ein Klemmschräubchen, von dem aus das zu messende Potential auf den Faden mittels eines möglichst kurzen in einem geerdeten Metallzylinder ausgespannten Drahtes übertragen wird. Man erkennt, daß so ein ganz ausgezeichneter Schutz vor der Influenz äußerer elektrischer Kräfte geschaffen ist. Ist eine Verwendung der seitlichen Elektrode nicht möglich, so entfernt man diese, schließt das Ansatzrohr und bewirkt die Verbindung durch den Stift Z_1.

Zur Regulierung der Empfindlichkeit des Instrumentes ist folgende Einrichtung getroffen:

Die Metallbacken S_1 und S_2 sind durch Bernstein B_2 isoliert und leitend mit den ebenso isolierten Metallklötzen D_1 und D_2 verbunden, deren jeder mit je einem Pole der Trockensäulen L_1 und L_2 in Kontakt gesetzt werden kann. Die Mikrometerschrauben V_1 und V_2 gestatten den Abstand der Platten S_1 und S_2 innerhalb weiter Grenzen beliebig zu vergrößern oder zu verkleinern, je nachdem eine Verringerung oder eine Erhöhung der Empfindlichkeit gewünscht wird.

Wenn die Verwendung von Trockensäulen — etwa bei längerer Versuchsdauer — zur Aufladung bedenklich erscheint[1]), oder wenn ein schwächeres Feld als die auf ein Potential von $\pm$ 150 Volt aufgeladenen Platten S_1 und S_2 selbst bei weitestem Abstande erzeugen, gewünscht wird, so kann man die Säulen mittels der in Fig. 2 gezeichneten Vorrichtung abschalten und an ihrer Stelle eine vielpaarige galvanische Batterie oder Hochspannungsakkumulatoren anschalten.

An der Vorderfläche des Instrumentes sind nämlich zwei Schieber T_1 und T_2 ange-

1) Bislang haben wir mit den im Instrumente vorhandenen Trockensäulen nur gute Erfahrungen gemacht. Die Schwankungen in der Stärke des Feldes zwischen den Platten S_1 und S_2 waren während der Gebrauchsdauer (etwa 1 bis 4 Stunden) nicht merklich größer als bei Verwendung einer Akkumulatorenbatterie.

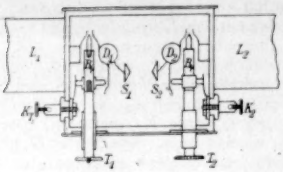


Fig. 2.

bracht; zieht man diese soweit als möglich heraus, so werden die äußeren Klemmen K_1 und K_2, wie ein Blick auf die Figur zeigt, leitend über D_1 und D_2 mit den Backen S_1 und S_2 in Verbindung gebracht. Schließt man also K_1 und K_2 an die beiden Pole einer in der Mitte geerdeten Batterie an, so wird zwischen S_1 und S_2 ein konstantes elektrisches Feld erzeugt.

Schiebt man dagegen T_1 und T_2 soweit als möglich hinein, so wird die Verbindung zwischen K_1 und S_1 einerseits und zwischen K_2 und S_2 andererseits aufgehoben und eine Leitung von L_1 über D_1 mit S_1 und von L_2 über D_2 mit S_2 hergestellt.

Die beschriebene Vorrichtung gestattet zugleich nach Abschaltung der Säule den Faden leitend mit einer der Platten S_1 oder S_2 zu verbinden, wodurch die gleichen Schaltungsweisen wie beim Lutzschen Einfadenelektrometer ermöglicht werden. Das Instrument ist hierdurch, wie man leicht übersieht, auch zur Messung hoher Potentiale tauglich gemacht.

Da der zarte Faden leicht in Vibration gerät, so erfordert das Instrument eine erschütterungsfreie Aufstellung.

Beim ersten Aufbau des Elektrometers ist es bisweilen mit Schwierigkeiten verknüpft, den Faden in die Bildebene des Mikroskops zu bringen. Um dies zu erleichtern, läßt sich das Mikroskop durch Ausschaltung eines abschraubbaren Zwischenrohres verkürzen, so daß, nachdem man durch Ausziehen des Rohres bis zu einem Anschlagstifte das Objektiv in die richtige Lage gebracht hat, ein lichtstarkes Gesichtsfeld von ca. 11 mm Durchmesser entsteht (gegenüber 2,5 mm des unverkürzten Mikroskops), in welchem der Faden leicht folgendermaßen aufgefunden werden kann.

Ziehe die Schieber T_1 und T_2 soweit heraus als möglich, erde die Klemmen K_1, K_2 und K_3 und entferne die Backen S_1 und S_2 so weit voneinander, als dies die Schraubvorrichtungen V_1 und V_2 zulassen, alsdann stelle den Arm AB des Dreifußes parallel der optischen Achse des Mikroskops durch Drehen des ganzen Apparats um den Zapfen C des Dreifußes. Nunmehr gib der Vertikalachse des Instrumentes mit Hilfe der im Dreifuß angebrachten Stellschrauben eine solche Stellung, daß der Faden scharf in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheint. Alsdann schalte das Zwischenrohr des Mikroskops wieder ein, bringe durch Einschieben des Rohres das Objektiv wieder in die zugehörige, ebenfalls durch einen Anschlag markierte Entfernung vom Faden und bewirke durch Drehen der Fußschrauben, daß dieser scharf auf den Nullpunkt der Skala einspielt.

Ist dies erreicht, so verbinde durch gleichzeitiges Hineindrücken der Schieber T_1 und T_2 die Pole der Säule mit S_1 und S_2. Nunmehr handelt es sich nur noch darum, dem Instrumente eine solche Empfindlichkeit zu geben, wie es die jeweiligen Versuche erfordern.

(Die folgenden Zahlenangaben beziehen sich auf das uns von der genannten Firma zur Verfügung gestellte Instrument mit Spinnwebfaden; bei anderen Exemplaren dürften etwas davon verschiedene Werte gefunden werden.)

Sind die Platten S_1 und S_2 möglichst weit voneinander entfernt, so erzeugt ein an den Faden angelegtes Potential von + 2 Volt eine Ablenkung von + 1 Skalenteil, wobei sich bis zu + 30 Volt genaue Proportionalität zwischen der Ablenkung des Fadens und dem angelegten Potential ergibt. Bei dieser unempfindlichsten Einstellung ist, sofern man die eingebauten Säulen als Ladevorrichtung benutzt, das Instrument geeignet Potentiale von 0 bis 30 Volt zu messen.

Die Empfindlichkeit läßt sich nun durch Annäherung der beiden Platten S_1 und S_2 kontinuierlich so weit vergrößern, daß eine Potentialdifferenz von 0,05 Volt einen einseitigen Ausschlag von 16 Skalenteilen hervorruft. Versucht man durch weiteres Heranschieben der Backen die Empfindlichkeit noch weiter zu steigern, so wird die Gleichgewichtslage des Fadens labil; bei der geringsten zugeführten Ladung verschwindet er aus dem Gesichtsfelde und kehrt nach Ableitung nicht mehr genau auf den Nullpunkt der Skala zurück.

Die Einstellung des Instrumentes auf eine bestimmte Empfindlichkeit geschieht zweckmäßig stufenweise folgendermaßen: Durch Drehen der Mutter V_2, also durch Annäherung der Platte S_2 erleidet der abgeleitete Faden im Gesichtsfelde des umkehrenden Mikroskopes eine Verschiebung nach links, deren Betrag auf 60 Skalenteile gebracht werde. Ist dieser erreicht, so führt man den Faden durch vorsichtiges Drehen von V_1, d. h. durch Annäherung der Platte S_1 in die Nullage zurück. Nach Beendigung dieser Operation bewirkt bereits der nicht abgeleitete Pol eines Normalelementes von 1,43 Volt einen Ausschlag von 9 bis 10 Skalenteilen. Durch fortgesetzte Wiederholung dieses Verfahrens und fortgesetzte Auswertung des Be-

trages der erzielten Ablenkung in Volt läßt sich so jede Empfindlichkeit zwischen den oben angegebenen Grenzen erreichen.

Solange der Faden einen einseitigen Ausschlag von etwa 20 Skalenteilen pro Volt nicht überschreitet, ist es möglich, durch passende Einstellung von S_1 und S_2 symmetrische Ablenkungen von der Nullage aus zu erzielen. Für höhere Empfindlichkeiten ist dies nur schwierig zu erreichen.

Die Einstellung erfordert alsdann große Geduld und beträchtlichen Zeitaufwand, so daß wir es in diesem Falle vorzogen, mit einseitigen Ausschlägen zu operieren.

Wegen der geringen Masse des Fadens und der Dämpfung durch die Luft ist seine Bewegung durchaus aperiodisch, dabei sind die auftretenden Nullpunktsschwankungen so geringfügig, daß sie die Genauigkeit der Messungen nicht beeinträchtigen.

Gerade wie beim Wulfschen Elektrometer läßt sich auch bei dem beschriebenen leicht ein Bild des Fadens samt der Skala auf einem Projektionsschirm entwerfen, wobei ohne weiteres das Ablesemikroskop als Projektionskopf dient.

Wolfenbüttel, im August 1909.

(Eingegangen 18. August 1909.)

Die Quadratwurzel der Atomgewichte.

Von J. Traube.

Durch eine briefliche Mitteilung des Herrn W. H. Bragg in Adelaide wurde ich vor 2 Jahren hingewiesen auf gewisse sehr interessante Ergebnisse derjenigen Arbeiten[1]) dieses verdienten Forschers, welche sich auf den Durchgang der α-Strahlen verschiedener Radiumprodukte durch feste und gasförmige Materie beziehen.

Bragg hat u. a. den Geschwindigkeitsverlust gemessen, welchen α-Strahlen erleiden, wenn dieselben durch Metalle oder durch Schichten von Gasen und Dämpfen hindurchtreten. Die Atome bezw. Moleküle der Metalle bezw. Gase üben eine Bremswirkung aus (stopping-power), und diese Bremswirkung ist nach Bragg in erster Annäherung proportional der Quadratwurzel der Atomgewichte der Metalle bezw. der Summe der Quadratwurzeln der Atomgewichte, welche das Molekulargewicht der Gase zusammensetzen. Weiter stellt Bragg fest, daß jene Bremswirkung auch in roher Annäherung proportional ist dem Molekularvolumen der betreffenden Gase und Dämpfe beim Siedepunkte, und es würde somit, wenn man die Bremswirkung der α-Strahlen beiseite läßt, eine Beziehung sich ergeben zwischen Raum und Masse der Atome in ihren Verbindungen, welche, da es sich um die fundamentalsten Eigenschaften der Atome handelt, von grundlegender Bedeutung sein würde.

Das Zahlenmaterial, dessen sich Bragg bediente, war, soweit es sich auf die Volumenbestimmungen bezog, sehr ungenügend. Ich habe daher in der Tabelle S. 668 für eine große Anzahl höchst heterogener Verbindungen unter $\sqrt{\Sigma A}$ die Summe der Quadratwurzeln der Atomgewichte und unter v_0 die namentlich von Guldberg[1]) recht zuverlässig berechneten Molekularvolumina beim absoluten Nullpunkt zusammengestellt.

Trotz gewisser unverkennbarer konstitutiver Einflüsse gibt in erster Annäherung die Gleichung:

$$v_0 = 2{,}6\sqrt{\Sigma A},$$

d. h. das Volumen der Atome beim absoluten Nullpunkte ist der Summe der Quadratwurzeln der Atomgewichte proportional. Die Ringbildung und Assoziation verkleinern den Proportionalitätsfaktor, und der Eintritt der Halogene wirkt vielfach erhöhend.

Welche Bedeutung hat nun die Quadratwurzel der Atomgewichte?

Martens[2]) hat aus Dispersions- und Absorptionsmessungen für eine Reihe durchsichtiger Elemente die Periode der Eigenschwingung bestimmt und er gelangt zu folgender Tabelle:

	λ beob. in $\mu\mu$	$37{,}3\sqrt{A}$
Diamant	125	129
Phosphor (gelb)	219	207
Schwefel (rhomb.)	225	211
Chlor (flüss.)	210	222
Selen (rot, glasig)	310	331
Brom	310	333
Jod (fest)	445	420
Titan	240	259

Die Quadratwurzel der Atomgewichte bezeichnet danach nichts anderes als die Schwingungsperiode der Atome, und es wird verständlich, daß diese Schwingungsperioden in erster Annäherung dem Volumen proportional sind. Man begreift auch ohne weiteres, daß jene Beziehung nur in roher Annäherung zutreffen kann, denn da beispielsweise durch den Ringschluß das Volumen verkleinert wird, so muß dementsprechend, wie dies tatsächlich der Fall ist, der obige Proportionalitätsfaktor verkleinert werden.

Martens weist darauf hin, daß, wenn wir

1) Bragg, Trans. Roy. Soc. South Australia **30**, 1906, und Phil. Mag. S. 620, 1906.

1) Guldberg, Zeitschr. f. phys. Chem. **32**, 122, 1900, und Berthelot, ebenda, Ref., **35**, 104, 1900.

2) Martens, Verh. d. D. phys. Ges. **4**, 138, 1902, und Stiefelhagen, Inaug.-Dissert. Berlin 1905.

	$\sqrt{\Sigma A}$	v_0	N	$\frac{v_0}{\sqrt{\Sigma A}}$	$\frac{N}{\sqrt{\Sigma A}}$
Hexapropyldisilikat ($Si_2O(OC_3H_7)_6$)	143,1	—	152	—	1,06
Triisoamylborat ($B(OC_5H_{11})_3$)	100,4	—	108	—	1,08
Traubens. Diamylester ($C_{14}H_{26}O_6$)	98,6	—	106	—	1,08
γ-Äthylendipiperidin ($C_{12}H_{24}N_2$)	73,1	—	82	—	1,12
Tetrāthylsilikat ($Si(OC_2H_5)_4$)	69,1	—	72	—	1,04
Diisoamylcyanamid ($C_{11}H_{22}N_2$)	67,7	—	76	—	1,12
Zimtsaures Äthyl ($C_{11}H_{12}O_2$)	58,2	—	64	—	1,10
Triäthylphosphat ($PO(C_2H_5O_3)S_3$)	57,4	—	60	—	1,05
Nitrooktan ($C_8H_{17}NO_2$)	56,5	—	62	—	1,10
Terpen ($C_{10}H_{16}$)	50,6	125,5	56	2,5	1,11
Cymol ($C_{10}H_{14}$)	48,6	123,7	54	2,5	1,11
Äthylvalerat ($C_7H_{14}O_4$)	46,25	112,5	50	2,4	1,08
Oktan (C_8H_{18})	45,8	123,5	50	2,7	1,09
Chlorbutters. Äthyl ($C_6H_{11}ClO_2$)	45,8	—	50	—	1,09
Dichlorproprions. Äthyl ($C_5H_8Cl_2O_4$)	45,25	—	50	—	1,10
Äthyltrichloracetat ($C_4H_5Cl_3O_4$)	44,7	—	50	—	1,12
Azetylentetrabromid ($C_2H_2Br_4$)	44,7	—	50	—	1,12
Naphthalin ($C_{10}H_8$)	42,7	—	48	—	1,12
Triäthylamin ($C_6H_{15}N$)	39,5	102,8	44	2,6	1,11
Benzoylchlorid (C_7H_5OCl)	39,2	93,0	44	2,4	1,12
Xylol (C_8H_{10})	37,7	96,6	42	2,6	1,11
Nitrobenzol ($C_6H_5NO_2$)	37,5	82,0	42	2,2	1,12
Jodbenzol (C_6H_5J)	37,0	89,8	42	2,4	1,12
Äthylpropionat ($C_5H_{10}O_2$)	35,3	86,1	38	2,4	1,07
Zinnchlorid ($Sn\,Cl_4$)	34,7	87,0	38	2,5	1,09
Brombenzol (C_6H_5Br)	31,7	82,2	39	2,4	1,12
i-Amylalkohol ($C_5H_{12}O$)	33,3	85,6	36	2,6	1,08
Hexamethylen (C_6H_{12})	32,1	—	36	—	1,09
Piperidin ($C_5H_{11}N$)	31,7	—	36	—	1,12
Chlorbenzol (C_6H_5Cl)	31,7	79,0	36	2,5	1,13
Anilin (C_6H_7N)	31,5	72,6	36	2,3	1,14
Diallyl (C_6H_{10})	30,8	86,8	34	2,8	1,10
Titanchlorid ($Ti\,Cl_4$)	30,8	85,8	32	2,8	1,04
Phenol (C_6H_6O)	30,8	70,3	34	2,3	1,10
Tetrachloräthylen (C_2Cl_4)	30,7	79,2	36	2,6	1,17
Fluorbenzol (C_6H_5F)	30,1	70,6	33	2,3	1,10
Chloral (C_2Cl_3HO)	29,8	75,9	34	2,55	1,14
Äthylazetat ($C_4H_8O_2$)	29,85	72,6	32	2,4	1,07
Äthylsulfid ($C_4H_{10}S$)	29,5	80,8	32	2,7	1,08
Pentan (C_5H_{12})	29,3	80,0	32	2,7	1,09
Siliciumchlorid ($Si\,Cl_4$)	29,2	83,1	32	2,85	1,10
Äthylenbromid ($C_2H_4Br_2$)	28,8	68,0	32	2,4	1,11
Diäthylamin ($C_4H_{11}N$)	28,6	74,0	32	2,6	1,12
Propyljodid (C_3H_7J)	28,5	75,0	32	2,6	1,12
Äthyläther ($C_4H_{10}O$)	27,85	72,6	30	2,6	1,08
Phosphoroxychlorid ($POCl_3$)	27,4	70,1	30	2,6	1,10
Amylen (C_5H_{10})	27,3	77,7	30	2,8	1,10
Chlorkohlenstoff (CCl_4)	27,3	72,7	32	2,7	1,17
Benzol (C_6H_6)	26,8	66,4	30	2,5	1,12
Arsenchlorür ($As\,Cl_3$)	26,5	65,4	28	2,3	1,06
Methylazetat ($C_3H_6O_2$)	24,4	57,8	26	2,4	1,07
Propionsäure ($C_3H_6O_2$)	24,4	56,9	26	2,3	1,07
Methyldisulfid ($C_2H_6S_2$)	24,2	69,2	26	2,8	1,07
Phosphorchlorür (PCl_3)	23,4	65,8	26	2,8	1,11
Schwefelchlorür (S_2Cl_2)	23,2	63,4	26	2,7	1,12
Äthyljodid (C_2H_5J)	23,2	60,5	26	2,6	1,12
Trimethylamin (C_3H_9N)	23,1	63,0	26	2,7	1,12
Propylamin (C_3H_9N)	23,1	59,6	26	2,6	1,12
Äthylidenchlorid ($C_2H_4Cl_2$)	22,8	62,0	26	2,7	1,14
Äthylenchlorid ($C_2H_4Cl_2$)	22,8	59,4	26	2,6	1,14
Propylalkohol (C_3H_8O)	22,4	58,1	24	2,6	1,07
Äthylchlorid (C_2H_5Cl)	21,3	59,6	24	2,8	1,12
Äthylbromid (C_2H_5Br)	20,9	55,1	23	2,6	1,09
Azeton (C_3H_6O)	20,4	53,2	22	2,6	1,08
Allylamin (C_3H_7N)	20,4	53,0	24	2,6	1,17
Essigsäure ($C_2H_4O_2$)	18,9	43,8	20	2,3	1,06
Äthylchlorid (C_2H_5Cl)	17,9	50,2	20	2,8	1,12
Brom (Br_2)	17,9	39,4	20	2,2	1,12
Methylenchlorid (CH_2Cl_2)	17,4	46,2	20	2,7	1,15
Äthylalkohol (C_2H_6O)	16,9	44,9	18	2,65	1,07
Schwefelkohlenstoff (CS_2)	14,8	45,0	16	3,0	1,08
Schweflige Säure (SO_2)	13,7	31,0	14	2,3	1,02
Ameisensäure (CH_2O_2)	13,5	28,9	14	2,1	1,04
Chlor (Cl_2)	11,9	33,4	14	2,8	1,18
Methylalkohol (CH_4O)	11,5	20,8	12	2,6	1,04

	$\sqrt{\Sigma A}$	v_0	N	$\frac{v_0}{\sqrt{\Sigma A}}$	$\frac{N}{\sqrt{\Sigma A}}$
Kohlensäure (CO_2)	11,5	25,5	12	2,2	1,05
Athylen (C_2H_4)	10,9	34,3	12	3,1	1,10
Wasserstoffsuperoxyd (H_2O_2)	10,0	—	10	—	1,00
Sauerstoff (O_2)	8,0	—	8	—	1,00
Stickstoff (N_2)	7,5	25,0	10	3,3	1,33
Methan (CH_4)	7,5	—	8	—	1,07
Kohlenoxyd (CO)	7,5	—	8	—	1,07
Ammoniak (NH_3)	6,7	18,0	8	2,7	1,18
Wasser (H_2O)	6,0	16,4	6	2,7	1,00
Helium (He)	2,0	—	2	—	1,00
Wasserstoff (H_2)	2,0	—	2	—	1,00

die Atome unter dem Einflusse der Lichtstrahlen in Schwingung versetzt annehmen, und nun annehmen, daß eine für alle Elemente gleiche Kraft zentrisch auf die aus ihrer Gleichgewichtslage gebrachten Atome wirkt, so wird $\lambda = 2c\pi\sqrt{\frac{A}{C}}$, wo c die Lichtgeschwindigkeit, ferner C und die bekannte Zahl π Konstanten sind [1]).

Da das kritische Volumen [2]) sehr angenähert $= 3{,}9\,v_0$ ist, so wird $v_k = 10{,}1\sqrt{\Sigma A}$; ebenso [3]) ist $b_{273} = 1{,}06$, v_0 und v_{273} annähernd $= 1{,}24\,v_0$, so daß es hiernach auch möglich ist, mit Hilfe der $\sqrt{\Sigma A}$ eine rohe Volumen- und Dichteberechnung für gewöhnliche Temperaturen zu bewirken. Die Proportionalität von Molekularrefraktion und jener Größe $\sqrt{\Sigma A}$ wird mehr noch als diejenige der sonstigen Volumengrößen durch konstitutive Einflüsse beeinträchtigt.

Die Werte N in der vorhergehenden Tabelle bezeichnen die Maximalvalenzen der Atomsummen, und wie man erkennt, ist im Mittel $N = 1{,}1\sqrt{\Sigma A}$. Diese Beziehung ist nach meinen früheren Arbeiten [4]) über Volumen und Valenz nicht auffallend, verdient indessen Interesse namentlich in Hinsicht auf die ionisierende Wirkung der α-Strahlen nach Bragg. Dieselbe ist hiernach einfach der im Molekül vorhandenen Valenz somit der Elektronenzahl proportional. In Anbetracht der Bedeutung der Atomgewichtswurzel schien es mir hier erforderlich, die Maximalvalenz den Berechnungen zugrunde zu legen.

Es wurde gesetzt: $H = 1$, $O = 4$ (nach Baeyer und Villiger sowie Brühl). N und $P = 5$; C, Si, $Ti = 4$, $B = 3$, $S = 6$, $Cl = 7$. Dahingegen mußte gesetzt werden für $F = 4$ [1]) $Br = 10$ und $J = 13$, und wie bei den Halogenen, so ist auch eine Zunahme der Maximalvalenz allgemein in den natürlichen Elementenfamilien mit wachsenden Atomgewichten anzunehmen. Diese Annahme entspricht vollkommen den spektralanalytischen Ergebnissen der Arbeiten von Lenard [2]) und Fredenhagen [3]), und die Existenz von Verbindungen wie JCl_3 oder $CsBr_5$ spricht gleichfalls für eine höhere Valenz des Jods als des Chlors, sowie des Cäsiums gegenüber dem Kalium [4]).

Auch die Elemente der Argonfamilie zeigen ja, daß man aus der Verbindungsunfähigkeit nicht auf die Valenzlosigkeit schließen darf. So enthält der Träger der α-Strahlen, das Heliumatom, nach den neueren glänzenden Versuchsergebnissen von Rutherford zwei Elektrizitätsquanten, und ein Blick in die vorhergehende Tabelle steht hiermit im vollkommenen Einklang, denn nur in diesem Falle ist für Wasserstoff, Helium und Sauerstoff $N/\sqrt{\Sigma A} = 1{,}0$.

Bekanntlich verschiebt sich sowohl bei verwandten Elementen wie Verbindungen die Absorption mit wachsendem Atom- bzw. Molekulargewicht fast immer nach dem roten Ende des

1) Nach den neueren Anschauungen auf Grund der Elektronentheorie stößt diese Ableitung indessen auf Schwierigkeiten, da nicht die Atome, sondern die mit denselben verbundenen Elektronen durch die Lichtstrahlen in Schwingung versetzt werden. Voraussichtlich haben wir für die Atome zyklische Bewegungen anzunehmen, und die Quadratwurzel der Atomgewichte dürfte alsdann dem mittleren Durchmesser der zyklischen Kurven entsprechen.

2) Traube, Ann. d. Phys. (4) **5**, 552, 1901.

3) Traube, Ann. d. Phys. (4) **22**, 540, 1907.

4) Traube, Ann. d. Phys. (4) **22**, 519, 1907. Ich möchte bei dieser Gelegenheit Einwände erheben gegen gewisse Arbeiten von Gervais le Bas (Phil. Mag., Sept. 1907, und Chem. News **98**, 85 und **99**, 206, Refer. Chem. Zentralblatt **2**, 1318, 1908, und 1, 1790, 1909). Dieser Autor stellt eine „neue Theorie des Molekularvolumens" auf, welche, soweit sie richtig ist, von mir herrührt, obwohl man, trotz gelegentlicher Erwähnung meiner Arbeiten, beim Lesen jener Arbeiten den Eindruck erlangt, als ob es sich um sehr originelle Leistungen handeln könnte. Daß Herr le Bas glaubt, das „Kovolumen" entbehren zu können (vgl. l. c., S. 350), zeigt, daß er die Bedeutung der Zustandsgleichung für den flüssigen Zustand nicht verstanden hat. Jene Arbeiten scheinen den Zweck zu haben, die von mir gefundenen Beziehungen zwischen Volumen und Valenz im Sinne der Theorie von Pope und Barlow (Trans. Chem. Soc. **89**, 1675, 1906; **91**, 1150, 1907 und **93**, 1528, 1908) gewiß nicht zu ihrem Vorteile umzumodeln.

1) Fluor hat, wie früher gezeigt wurde, dasselbe Volumen und hiernach auch dieselbe Maximalvalenz wie Sauerstoff. Damit hängt wohl der Isomorphismus beider Elemente zusammen. Vergl. auch insbesondere über die Verwandtschaft von Sauerstoff und Fluor die Ausführungen Waldens, Zeitschr. f. phys. Chem. **66**, 406, 1909.

2) Lenard, Ann. d. Phys. (4) **17**, 197, 1905.

3) Fredenhagen, Verh. d. D. phys. Ges. **9**, 407, 1907.

4) Vgl. auch Walden, Zeitschr. f. phys. Chem. **65**, 280, 1909, und Erfle, Inaug.-Diss. München 1907.

Spektrums hin. Die Substitution von Wasserstoff durch andere Gruppen wirkt fast immer bathochrom. Nach den hier gegebenen Beziehungen ist diese Beziehung von Absorption, Farbe und der Summe der Quadratwurzeln der Atomgewichte erklärlich, und es hätte erhebliches Interesse sowohl bei den Elementarspektren wie den Absorptionsspektren der Verbindungen die korrespondierenden Linien[1]) aufzusuchen, für welche $\frac{\lambda}{\sqrt{A}}$ bzw. $\frac{\lambda}{\sqrt{\Sigma A}} =$ konstant ist.

Batschinski weist l. c. auch hin auf die Bedeutung der erwähnten Arbeit von Martens für das Verständnis der Periodizität der Elemente. Wenn man an Stelle der Atomgewichte deren Quadratwurzeln setzt, so läßt sich der Satz aussprechen: Die Atome befinden sich in einem Schwingungszustande; die Größe der Schwingungsperiode charakterisiert die Eigenschaften der Elemente, die Schwingungsperiodengrößen der verwandten Elemente stehen in einfachen Beziehungen zueinander.

Die Periodizität der elementaren Eigenschaften würde hiernach gleichsam in Beziehung gesetzt zu den harmonischen Beziehungen von Schall- und Ätherschwingungen, und ich gestehe gern, daß mir der Gedanke von Batschinski[1]) sympathischer ist, als der ältere Gedanke von Mendelejeff[2]). Dennoch kann ich dem periodischen Systeme auch heute noch nicht zustimmen. So wenig wie man daran denken würde, die organischen Verbindungen trotz der auch hier vorhandenen Periodizität lediglich nach der Größe des Molekulargewichts zu systematisieren, ebensowenig trägt die Systematisierung der Elemente lediglich nach der Größe des Atomgewichts deren vielfach vorhandener Chamäleonnatur Rechnung. Wie ich früher[2]) gezeigt habe, besteht eine viel unmittelbarere Beziehung der Eigenschaften der Elemente und Verbindungen zu den Atomräumen als zu den Atomgewichen, und wenn nun auch in bezug auf die Verbindungen die Funktion zwischen den Fundamentalkonstanten der Atome: Raum und Masse festgestellt wurde, so gilt jene Beziehung zwischen Volumen und Atomgewichtswurzel nicht für die Elemente als solche.

1) Batschinski, Zeitschr. f. phys. Chem. **43**, 372, 1903.
2) Vgl. meinen Grundr. d. physik. Chem., Stuttgart, Enke, 1904.

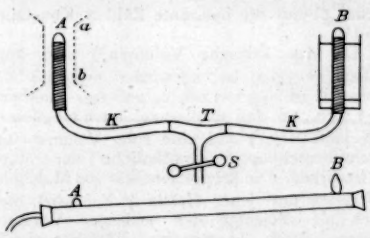
(Eingegangen 14. August 1909.)

Über den Neyreneufschen Versuch für die Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe und seine Verwendung.

Von V. Dvořák.

Ich habe schon in dieser Zeitschrift (**2**, 492, 1901: „Bemerkung zu den Schulversuchen über die Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe") auf den Neyreneufschen Versuch aufmerksam gemacht; seitdem ist eine ganze Reihe von Untersuchungen über diesen Gegenstand erschienen, aber die Arbeiten von Neyreneuf[1]) wurden dabei gänzlich übergangen, und schreibt man wohl gewöhnlich die Idee des Versuches Behn zu, obwohl der Behnsche Versuch nur eine Abänderung des Neyreneufschen vorstellt.

Zum Versuche von Neyreneuf nimmt man ein T-Rohr T (Fig. 1), zwei gleich lange Kautschukschläuche K, und zwei etwa 10 cm lange Metallröhren (in der Figur schraffiert), alles von etwa 12 mm innerem Durchmesser. Durch einen Schrauben-Quetschhahn S läßt man Leuchtgas eintrömen, zündet die Flammen bei A und bei B an, und verkleinert sie, bis sie noch mit heller Spitze brennen; je kleiner die Flammen, desto größer die Empfindlichkeit. Eine geringfügige Hebung einer Flamme bewirkt sofort, daß sie höher wird, die andere aber niedriger[2])



Behn[3]) nimmt nur ein Metallrohr mit zwei

1) Annal. de chimie et de phys. T **25**, 167, 1882. „Mémoire sur l'écoulement du gaz et sur quelques propriétés des flammes". Im Jahre 1883 erschien noch eine Arbeit in den Mém. Ac. de Caen, S. 1—18, welche ich nur aus den Beiblättern zu den Ann. d. Phys. (1886, S. 148 „Ausfluß der Gase durch konjugierte Öffnungen") kenne. Ein Teil späterer ohne Kenntnis dieser Arbeiten angestellte Untersuchungen ist hier schon vorweggenommen; auch sind diese Arbeiten noch heute in mancher Beziehung von Interesse.

2) Neyreneuf bemerkt, Bennevides habe schon vor langer Zeit nachgewiesen, daß die Leuchtkraft der Gasflammen in Lissabon mit der Höhe zunehme; einmal brannten nur die Flammen in den höher gelegenen Stadtteilen, während tiefer die Flammen überhaupt nicht angezündet werden konnten, ohne Zweifel wegen zu geringem Gasdruck.

3) Zeitschr. f. phys. u. chem. Unters. **16**, 132, „Einige neue Versuche und Apparate aus der Mechanik und Optik", 1903.

ziemlich weiten Öffnungen *A* und *B* (Fig. 1, unten) und bemerkt dazu: „Liegt *B* nur um 3 mm höher als *A*, so ist schon die Differenz der Flammengrößen in einem großen Hörsaal überall deutlich zu sehen . . . . .; zur Erreichung dieser Empfindlichkeit muß, wie oben vorgeschrieben, das Rohr weit sein und in dünner Wandung ziemlich weite Ausströmungsöffnungen haben . . . „dann weiter unten in einer Anmerkung: „dies ist eine wesentliche Bedingung, und diese ist bei dem Versuch von Neyreneuf, den Dvořák beschreibt, nicht erfüllt".

Dem entgegen erwähne ich nur, daß man auch die Empfindlichkeit des Neyreneufschen Versuches beliebig steigern kann, wenn man die Rohrleitungen kurz und von größerem Durchmesser nimmt, wodurch der Ausströmungswiderstand herabgesetzt wird. Schon Neyreneuf führt an, daß man Höhenunterschiede von der Größenordnung eines Zehntelmillimeters bemerken kann; er konnte sogar zwischen zwei Brennern, auch wenn sie durch lange Kautschukschläuche verbunden und recht weit voneinander entfernt waren, selbst mit dem Kathetometer keinen Höhenunterschied nachweisen, als er die Brenneröffnungen mit Hilfe der Flammengleichheit auf gleiche Höhe einstellte.

Übrigens kann man nach Neyreneuf zu dem Versuche auch ein bloßes *Y*-Rohr aus Metall benützen.

Mir scheint es überhaupt, daß der Behnsche Versuch, mag er auch für manche Zwecke sehr geeignet sein, für die Schule nicht recht tauglich ist. Abgesehen davon, daß man nicht wie beim Neyreneufschen Versuch, die beiden Flammen beliebig nähern und entfernen sowie leicht in der Horizontalebene bewegen kann, um zu zeigen, daß in dieser der Luftdruck gleich ist, kann dem Schüler die Beweiskraft des Versuches leicht verdächtig vorkommen. Das Rohr erhitzt sich nämlich stark, und das bei *A* (Fig. 1) heraufkommende Gas erhitzt sich am Wege immer mehr: es könnte also schon deshalb bei *B* die Flamme höher brennen, weil das Gas dort heißer ist, als bei *A*.

Beim Neyreneufschen Versuch kann man den Einfluß der Temperatur auf die Flammengröße sehr leicht zeigen[1]).

Man mache die Flammen so groß, daß sie eine gut sichtbare leuchtende Spitze zeigen, lösche dann die eine durch momentanes Zudrücken mit dem Finger aus und warte etwa zwei Minuten, worauf man die Flamme wieder anzündet: sie wird kaum sichtbar sein, während die andere viel höher brennt. Das eine Rohr ohne Flamme hat sich nämlich unterdessen abgekühlt, während das andere durch die Flamme noch heißer wurde; die Gewichte der Gassäulen in den beiden Rohren sind also ungleich, somit auch die Ausströmungsgeschwindigkeiten.

Man kann auch vermittels eines Korkes einen kleinen Blechzylinder anbringen (siehe Fig. 1, rechts), und während beide Flammen in gleicher Höhe brennen, in den Zylinder kaltes Wasser gießen: sofort wird dort die Flamme ganz klein.

Wie der Neyreneufsche Versuch beim Unterricht auch anderweitig verwendet werden kann, zeigen folgende zwei Versuche.

A. Wirkung des Magnetfeldes auf Gase.

Man bringt die eine Flamme zwischen die Polflächen eines größeren Elektromagneten; bei meinem betrug die Breite *a b* (in Fig. 1 punktiert angedeutet) 5,5 cm, so daß ein fast gleichförmiges Feld entstand.

Läßt man die Stromstärke allmählich wachsen, so wird die Flamme zwischen den Polflächen immer kleiner und die andere größer[1]); zuletzt verlischt die Flamme ganz.

Der Versuch ist weithin sichtbar und leicht anzustellen.

B. Wirkung des elektrischen Feldes auf die Flamme.

Man stelle die eine Flamme etwa 3 cm unter die negative Polkugel einer Influenzmaschine, verbinde die Metallröhre mit dem anderen Pol und drehe äußerst langsam; sofort verlängert sich die im elektrischen Felde befindliche Flamme, während die andere kleiner wird. Es ist nämlich nach Rieß die Flamme + elektrisch und wird also vom —Pol angezogen; beim langsamen Drehen entsteht ein kontinuierlicher Elektrizitätsstrom, da ja die Flammengase leitend sind.

Stellt man die Flamme unter den +Pol, so wird sie kleiner, um nach einiger Zeit plötzlich aufzuflackern, wahrscheinlich wenn eine momentane Entladung einsetzt.

Bei allen diesen Versuchen ist es gut, wenn der Hörsaal etwas verdunkelt ist.

Agram, 20. Juli 1909.

(Eingegangen 22. Juli 1909.)

1) Dieser und die folgenden Versuche rühren vom Verfasser her.

1) Durch Senken der zweiten Flamme kann man die Flammen wieder gleich groß machen; die Größe der Senkung könnte ein Maß für die Stärke des Magnetfeldes abgeben.

Beobachtungen über elektrolytische Entstehung von Silberspiegeln.

Von Rudolf Lohnstein.

Es ist bekannt, daß durch eine Anzahl organischer Substanzen, z. B. die Zuckerarten, Seignettesalz, Formaldehyd, Glyzerin, ammoniakalische Silbernitratlösung reduziert wird, wobei sich das Silber in Form eines Spiegels auf dem Glas ausbreitet; hierauf beruhen die verschiedenen Vorschriften zur Herstellung von Silberspiegeln. Wie ich nun gefunden habe, entstehen Silberspiegel auf Glas auch bei gewissen elektrochemischen Vorgängen. Daß bei der Elektrolyse von Silbersalzlösungen das abgeschiedene Silber die Neigung hat, sich auf dem Elektrolyten, bzw. der Glaswand auszubreiten, ist freilich bekannt. Die von mir beobachteten Erscheinungen sind jedoch etwas anderer Art und, soweit ich ermitteln konnte, in der Literatur noch nicht beschrieben. Deswegen, und weil sie mir ein gewisses theoretisches Interesse zu haben scheinen, möchte ich nachstehend in Kürze über meine Beobachtungen berichten.

Verbindet man eine aus destilliertem Wasser mit Silberelektroden bestehende elektrolytische Zelle mit den Polen einer Stromquelle von einigen Volt Spannung, so entsteht, da ja auch destilliertes Wasser teils infolge seiner geringen Eigendissoziation, teils durch Spuren von gelösten Stoffen eine gewisse Leitfähigkeit besitzt, ein schwacher Strom, vermöge dessen Ag an der Anode in Lösung geht. Es bildet sich eine Lösung von $Ag\,OH$, infolgedessen nimmt die Leitfähigkeit zu, bald trübt sich das Wasser durch Bildung von Silberoxyd, und bei Fortgang der Elektrolyse wird an der Kathode schwammiges Silber abgeschieden. Dieses breitet sich teilweise auf der Oberfläche der Flüssigkeit als glänzendes Häutchen aus, zuweilen, aber durchaus nicht konstant, zeigt sich hierbei in der Nähe der Elektroden auf der Glaswand rudimentäre Silberspiegelbildung; es handelt sich dabei aber nur um ganz kleine Fleckchen.

In erheblich ausgedehnterem Maße tritt Silberspiegelbildung an den Wänden und am Boden des zur Elektrolyse benutzten Glasgefäßes ein, wenn man die Elektrolyse zwischen Silberelektroden nicht mit reinem destillierten Wasser vornimmt, sondern mit destilliertem Wasser, welches gewisse organische Substanzen gelöst enthält, und zwar solche, welche die Eigenschaft haben, ammoniakalische Silbernitratlösung zu reduzieren. Es sind dies die verschiedenen Zuckerarten, Glyzerin, Gelatine, Seignettesalz. Mit Formaldehydlösungen gelang die Erzeugung von Silberspiegeln nicht. Soweit diese Substanzen selbst Elektrolyte sind, wie Seignettesalz, oder Elektrolyte einschließen, wie die Gelatine, darf man sie nur in großer Verdünnung zusetzen, weil ein sehr geringer Gehalt der Lösung an Elektrolyten eine notwendige Vorbedingung für die Entstehung des Silberspiegels auf elektrolytischem Wege zu sein scheint. Die Zuckerarten als Nichtelektrolyte kann man in höherer Konzentration verwenden, ebenso Glyzerin. Übrigens sind die durch Elektrolyse der Zuckerlösungen erzeugten Silberspiegel auch die gleichmäßigsten. Die Wirkung der Zuckerarten, ebenso des Glyzerins beruht augenscheinlich darauf, daß sie zunächst einen Teil des bei der Elektrolyse entstehenden $Ag\,OH$ reduzieren und dann das gebildete Ag zum Teil in kolloidaler Form gelöst erhalten; aus der kolloidalen Lösung scheidet sich das Silber zu einem kleinen Teil dann unter Einwirkung des Stroms an den Wänden und am Boden des Gefäßes als Spiegel ab. Die Silberspiegelbildung schreitet nur so lange fort, als durch die elektrolytische Zelle Strom hindurchfließt. Die ursprünglich klare, farblose Flüssigkeit trübt sich dabei zunächst, wird dann gelblich, weiter bräunlich, schließlich mehr oder weniger schmutzig graubraun bei auffallendem Licht, während sie in durchfallendem Licht braunrot und durchsichtig erscheint. Daß es sich dabei um eine kolloidale Silberlösung handelt, erkennt man daraus, daß nach Zusatz von Elektrolyten zu der bräunlichen Lösung diese sich langsam zu einer farblosen durchsichtigen Flüssigkeit klärt, indem zugleich ein grauschwarzer Schlamm zu Boden sinkt, welcher die Eigenschaft hat, H_2O_2 zu zersetzen.

Während die Lösung diese Änderungen durchmacht, beginnt auch die Silberspiegelbildung an den Wänden des Gefäßes, und zwar zeigen sich die ersten Spuren des Silberspiegels in der Nähe der Kathode, oft schon $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde nach Beginn der Elektrolyse, wenn man die Kathode an der Glaswand, bzw. an einer in dem Gefäß befindlichen Glasplatte anbringt.

Was speziell die elektrolytische Bildung von Silberspiegeln aus Zuckerlösungen anlangt, so erwies sich der kristallisierte Rohrzucker als am besten dazu geeignet, demgemäß habe ich die meisten Versuche mit Rohrzuckerlösungen angestellt. Im folgenden sollen noch einige Angaben über diese Versuche gemacht werden. Die Konzentration kann in weiten Grenzen schwanken; meist waren die Zuckerlösungen 1—5 proz.; jedoch bekam ich Silberspiegel schon mit einer 0,28 proz. Lösung; schwächere Konzentrationen habe ich nicht versucht. Am gleichmäßigsten werden die Spiegel bei 2—3 proz. Lösungen.

Außer mit reinen Rohrzuckerlösungen stellte

ich Versuche mit Rohrzuckerlösungen an, denen Elektrolyte in ganz schwacher Konzentration hinzugesetzt waren; und zwar wählte ich als Zusatz teils NH_3 allein, teils NH_3 und KHO gleichzeitig. Die Konzentration in bezug auf NH_3 war etwa $^1/_{100}$ Proz., in bezug auf KHO etwa $^1/_{300}$ Proz.; kleine Abweichungen nach oben und unten kommen dabei nicht in Betracht. Der Zusatz dieser Elektrolyte in der angegebenen Konzentration bewirkt, daß die Silberspiegelbildung schneller und gleichmäßiger erfolgt. Auch der Zusatz von Seignettesalz in entsprechend schwacher Konzentration zu den Zuckerlösungen ergab ziemlich gleichmäßige Silberspiegel.

Die Elektroden bestanden teils aus Silberdraht von 1,5 mm Durchmesser, teils aus Silberplatten von 0,65 mm Dicke, 2,5 cm Breite und 5 cm Höhe. Die Entfernung der Elektroden voneinander betrug bei meinen Versuchen etwa 2—8 cm; die Drahtelektroden waren meist in vertikaler Stellung an einer oder zwischen zwei vertikalen Glasplatten befestigt, auf welchen die Spiegel erzeugt wurden. Die Plattenelektroden wurden einander ebenfalls vertikal gegenüber gestellt und zwar an dem oberen Teil je einer vertikalen Glasplatte; die Spiegel entstehen dann in dem Teil der Glasplatten unterhalb der Elektroden. Bei dieser Anordnung zeigen die Silberniederschläge an der Kathode und an der Anode eine verschiedene Beschaffenheit. Die kathodischen Silberspiegel haben größere Schichtdicke, sie spiegeln teilweise auch auf der Seite der Silberschicht. Die anodischen Silberniederschläge sind meist so dünn, daß sie durchsichtig (in durchfallendem Lichte blau) erscheinen. Nicht nur in der Nähe der Elektroden, sondern auch in größerer Entfernung von diesen an den Wänden des Glasgefäßes, sowie am Boden bilden sich häufig Silberspiegel. Man kann deswegen auch in der Weise auf Glasplatten Silberspiegel erzeugen, daß man jene auf dem Boden einer flachen Schale (z. B. einer photographischen Entwicklungsschale) legt und darüber die plattenförmigen Silberelektroden vertikal schwebend anbringt. Die elektromotorische Kraft betrug bei meinen Versuchen 4,5 bis 18 Volt, je nach dem Abstand der Elektroden. Die erzeugten Silberspiegel waren bis zu 5 : 6 cm groß; bei Anwendung höherer Spannungen und entsprechender größerer Dimensionen der Elektroden und Gefäße würden sich voraussichtlich auch größere Spiegel erzielen lassen. — Die mittlere Stromstärke betrug meistens 0,5 bis 1,5 Milliampere, sowohl bei den elektrolytfreien Zuckerlösungen wie bei den Lösungen mit elektrolytischen Zusätzen; bei ersteren ist die Stromstärke im Anfang natürlich viel kleiner, sie nimmt aber bald durch das entstehende $Ag\,OH$ zu. — Zum Schluß noch einige zusätzliche Bemerkungen. Bei den meisten meiner Versuche waren beide Elektroden aus Silber; notwendig ist nur, daß die Anode aus Silber besteht; die Kathode kann aus einem beliebigen anderen indifferenten Metall, z. B. Platin oder Kupfer, bestehen; in einigen Versuchen, in welchen ich eine Kupferplatte als Kathode nahm, ging die Silberspiegelbildung in genau derselben Weise vor sich, wie bei der Anordnung, bei welcher beide Elektroden aus Silber bestehen. — Weiter ist zu erwähnen, daß an der Anode nicht nur Ag aufgelöst wird, sondern daß bei Fortgang der Elektrolyse die Anode sich mit einer Schicht bedeckt, welche wahrscheinlich mit dem sog. elektrolytischen Silbersuperoxyd identisch ist, das auch bei der Elektrolyse von Silbernitrat zwischen Platinelektroden an der Anode sich bildet. Der Zusatz von KHO zu der Lösung hat die Wirkung, daß die Abscheidung von schwammigem Ag an der Kathode sehr erheblich verringert wird.

Ob die beschriebene Silberspiegelbildung in irgendeiner Hinsicht praktische Bedeutung gewinnen wird, läßt sich vorläufig nicht beurteilen; die Silberbeläge fallen ziemlich ungleichmäßig aus und geben nur stellenweise gute Spiegel; indes ist nicht ausgeschlossen, daß sich dieser Übelstand durch geeignete Maßnahmen beseitigen läßt. In theoretischer Beziehung, glaube ich, haben die mitgeteilten Beobachtungen ein gewisses Interesse, besonders für die Kolloidchemie; sie zeigen, daß mittels sehr schwacher elektrischer Ströme das Silber aus dem metallischen Zustand zunächst in den Ionenzustand, und aus diesem teilweise in den kolloidalen Zustand sich überführen läßt.

(Eingegangen 29. Juli 1909.)

Einige Versuche über Oberflächenspannung.

Von H. W. Fischer.

Die im folgenden beschriebenen Versuche knüpfen an die bekannte Tatsache an, daß eine Nadel, die man vorsichtig auf Wasser legt, nicht untersinkt, sondern auf der Oberfläche des Wassers liegen bleibt[1]). Die Versuche sind nicht mit Nadeln, sondern mit Stückchen eines einige Hundertstel Millimeter starken Kupferbleches ausgeführt. Ein solches Plättchen bleibt auch in der Oberfläche hängen.

Die Erklärung dafür ist bekanntlich darin zu suchen, daß die Oberflächenspannung größer ist, als die von der Erde ausgeübte Anziehung,

1) Vgl. Chwolson, L. d. Phys. 1, 568, 1902.

d. h. für ein kreisförmiges Plättchen von Radius r und der Masse m

$$2\pi r a > gm \text{ [1]}. \quad (1)$$

Je größer a ist, desto größer kann die Masse der Platte sein, ohne daß diese untersinkt. Dasselbe Kupferplättchen, das auf Wasser schwimmt, sinkt in Petroleum, weil es durch dieses viel leichter benetzt wird.

Solange aber die Ungleichung (1) erfüllt ist, befindet sich das Plättchen sogar in einer vollkommen stabilen Lage. Denn drückt man es etwas unter die Oberfläche, so kehrt es nach einiger Zeit wieder in seine frühere Lage zurück.

Doch läßt sich leicht in der üblichen Weise andererseits nachweisen, daß das Plättchen von Wasser benetzt wird, denn eine schwache, an ihm befestigte Spiralfeder läßt sich erheblich ausziehen, ehe das Plättchen abreißt. Ein unbenetzbares Plättchen müßte dem elektrischen Strome ferner einen erheblichen Übergangswiderstand bieten, auch das ist nicht der Fall.

Jedes Oberflächensystem versucht seine Oberfläche möglichst zu verkleinern. In dem vorn spitzen Teile eines dreiseitigen prismatischen Glastroges steigt das Niveau bekanntlich in der Form einer Hyperbel an. Ein ebenes dreieckiges Kupferplättchen, das man in diesen erhöhten Teil hineinstößt, zuckt sofort in den ebenen Teil zurück, sobald man es losläßt. Ein der Niveaufläche angepaßtes Plättchen bleibt aber oben liegen. Daß die Oberflächenspannung imstande ist, das Plättchen gegen die Gravitation zu heben, läßt sich eleganter mit Hilfe eines ebenso, wie der Glastrog geformten Ebonithohlprismas zeigen. Diesmal steht in dem engen Teile das Wasser tiefer. Das ebene Plättchen schwimmt dann in den höher gelegenen Teil hinauf, sich genau in der Mitte haltend. Da aber die Oberflächenspannung jetzt gegen die Gravitation arbeitet, so geschieht die Bewegung viel langsamer.

Setzte ich in die Formel (1) für m seinen Wert

$$= 2\pi r^2 s \cdot d.$$

Worin s das spezifische Gewicht und d die Dicke bedeutet, so erhalte ich

$$2a = g r s d. \quad (2)$$

D. h. je kleiner der Radius des Plättchens ist, desto stabiler ist seine Lage in der Oberfläche. Sehr kleine plattenähnliche Körper werden sich also auch bei geringer Oberflächenspannung gegen Wasser dauernd in der Oberfläche halten.

Nun beschrieb vor kurzem E. Wiedemann (Verh. d. D. Phys. Ges. 1909, 263) folgenden Versuch:

„Besonders deutlich lassen sich die Erscheinungen beobachten, wenn man einen an einem dünnen Drahte aufgehängten Magnetstab gerade die Wasseroberfläche berühren läßt und diese kräftig anraucht. Aus einer Schwingung mit mäßiger Dämpfung wird eine aperiodische Bewegung. Rührt man nun das Wasser um, so tritt die alte Beweglichkeit wieder auf".

Tabakrauch besteht, wie Zsigmondy (Zur Erkenntnis d. Kolloide, S. 152) gezeigt hat, aus zahlreichen ultramikroskopischen Teilchen, die, wie wir eben gezeigt haben, wegen ihrer Kleinheit in der Oberfläche hängen bleiben werden. Einer Verschiebung ihrer Gesamtheit, wie es jede Schwingung des Magnetstabes erheischet, werden sie wegen ihrer großen Gesamtoberfläche einen großen Reibungswiderstand entgegensetzen. Vielleicht lassen sich auch gewisse optische Erscheinungen („Oberflächenschichten" z. B.) durch eine „Verstaubung" von Oberflächen erklären.

Breslau, Physikalisches Institut der Universität, den 28. Juni 1909.

(Eingegangen 20. August 1909.)

1) S. 543.

Neue Quecksilberunterbrecher.

Von Friedrich Dessauer.

Wer sich mit der Technik des Induktoriums und des Unterbrechers befaßt hat, kennt die Schwächen der mechanischen Unterbrechungsvorrichtungen, die dem Wehneltunterbrecher den Weg zur Einführung ebneten. Der Platinunterbrecher in seinen verschiedenen Modifikationen verträgt die Strombelastung nicht, welche von einem modernen Röntgeninstrumentarium oder einer Station für drahtlose Telegraphie gefordert werden muß; aber auch der Quecksilberunterbrecher hatte enge Grenzen seiner Leitungsfähigkeit.

Früher waren diese Grenzen noch enger. Man verfügte nur über Quecksilbertauchkontaktunterbrecher, die teilweise von dem Eisenkern des Induktoriums, teilweise von einem kleinen Motor angetrieben werden (Motorunterbrecher). Die geringe erreichbare Schwingungszahl des ein- und austauchenden Stachels, das Wippen des Quecksilbers, das Nachziehen von Tropfen beim Heraustauchen ließen weder größere Strombelastung noch hohe Frequenz, ja nicht einmal zuverlässig gleichmäßiges Arbeiten zu. Das Verdienst, diese engen Grenzen etwas erweitert zu haben, kommt Nicola Tesla und Hans Boas zu. Sie brachten Quecksilberunterbrecher auf Grund des Rotationsprinzips. Dünne Quecksilberstrahlen spritzten im Kreise herum gegen Kontaktzähne (Boas) oder ein Zahnkranz schnitt bei seiner Kreisbewegung durch einen ruhenden Quecksilberstrahl (Tesla). Dutzende von Modifikationen

dieser Unterbrecher sind entstanden, immer gekennzeichnet durch das strahlenförmige Ausspritzen von Quecksilber wider eine Kontaktfläche.

Diese Unterbrecher waren wesentlich besser. Sie arbeiteten regelmäßig und die Unterbrechungszahl konnte erhöht werden. Dagegen war es um die unterbrochene Stromstärke immer noch schlecht bestellt. Die feinen Quecksilberstrahlen vertrugen keine hohe Strombelastung. Die meisten Modelle verschlammten überdies leicht.

Die Forderungen, die man an einen Quecksilberunterbrecher stellen muß, lassen sich einteilen in allgemeine und spezielle. Allgemeine Forderungen sind diejenigen, welche durch das ganze System — Induktor, Unterbrecher, Kondensator — und durch seinen Zweck — häufig die Erzeugung von Röntgenstrahlen — gebildet werden.

In der Figur 1 ist das allgemeine Schema

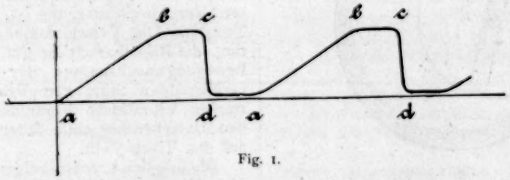


Fig. 1.

des Stromverlaufs bei der Tätigkeit eines Unterbrechers dargestellt. Bei *a* wird Kontakt gebildet, der Strom steigt unter Überwindung des Selbstinduktionshindernisses bis zu seinem Maximum *b*. Dieser Anstieg *a*—*b* soll möglichst sanft sein, damit die Spannung der in der Sekundärspule bewirkten Induktion, der Schließungsinduktion möglichst klein bleibt. Manche Unterbrecher lassen den Strom über die Erreichung seines Maximums hin ausgeschlossen. Diese Phase *b*—*c* bewirkt keinen Nutzen. Es ist zu verlangen, daß *c* möglichst mit *b* zusammenfällt. Andererseits soll der Unterbrecher nicht so konstruiert sein, daß *b*—*c* negativ wird, d. h. also der Unterbrecher vor Erreichung des Maximums den Magnetisierungsstrom unterbricht. Das kommt auch häufig vor, insbesondere dann, wenn die Tourenzahl des Apparates sehr groß ist, also die Zeiten für die einzelnen Phasen kleiner werden. Dann wird die Kontaktdauer häufig zu kurz, wenn nicht geeignete Vorrichtungen eine Verlängerung der Kontaktdauer ermöglichen.

Die Phase *c*—*d*, die Unterbrechungsphase, soll möglichst kurz sein. Tatsächlich hängt der Abfall, wie Tesla in seinen Unterbrecherpatenten aus den Jahren 1897 und 1898 bereits ausführt in hohem Maße von der Geschwindigkeit der Kontaktentfernung ab. Aus seinen Untersuchungen folgert Tesla, daß der bei der Untersuchung entstehende Öffnungsfunke, der den Ablauf *c*—*d* verzögert, mit dem Quadrate derjenigen Geschwindigkeit abnehme, mit der die beiden Kontakte sich voneinander entfernen. Diese Überlegung war für Tesla der Ausgangspunkt seiner Konstruktion.

Endlich kommt die Phase *d*—*a*, d. i. die Pause zwischen einer Unterbrechung und dem nächsten Stromschluß. Diese Phase soll zwar nicht zu lang sein, doch darf sie bei mechanischen Unterbrechern, die mit Kondensatoren arbeiten, keineswegs gleich Null werden, damit der Kondensator und das mit ihm gekuppelte Schwingungssystem ausschwingen kann. Man kann allgemein sagen, daß außer der Erzeugung einer großen Unterbrechungsfrequenz es von Wichtigkeit sei, daß die Aktivitätsphase *a*—*b* möglichst lange im Vergleich zu den Inaktivitätsphasen *b*—*c* und *d*—*a* sei.

Sind dies allgemeine Forderungen für jeden mechanischen Unterbrecher, so lassen sich aus der Praxis heraus noch andere Konstruktionsforderungen ableiten. Damit die unterbrochene Stromstärke und damit die Leistung des Apparates möglichst hoch gesteigert werden könne, muß der Kontakt sehr innig sein und Tropfenbildung und Nachschleppen von Quecksilberteilchen nach Kräften vermieden werden. Es empfiehlt sich nicht, dünne Quecksilberstrahlen auftreffen und dabei unvermeidlicherweise zerstäuben zu lassen. Vielmehr ist rätlich, den festen Kontakt tief ins Quecksilber eintauchen zu lassen.

Eine weitere mechanische Forderung geht dahin, alle überflüssigen Bewegungen im Innern der Quecksilbergefäße zu vermeiden. Das Quecksilber muß mit Deckflüssigkeit (Petroleum, Alkohol) überdeckt sein. Bewegen sich in der Flüssigkeit zahlreiche und besonders mit Vorsprüngen, Nischen ausgestattete feste Körper, so wirken sie wie ein Rührwerk, vermischen Deckflüssigkeit und Quecksilber und leisten der Verschlammung Vorschub. Deshalb sind gleitende und reibende Teile im Innern mög-

lichst zu vermeiden. Überhaupt soll Einfachheit möglichst gewahrt bleiben, denn sie bedeutet Zuverlässigkeit auf die Dauer.

Der Hauptgesichtspunkt für die geistreichen Konstruktionen Teslas war neben der Erzeugung großer Frequenz die möglichst rapide Trennung der Kontakte. Er beschrieb 1898 ein Modell (Elektrot. Zeitschrift No. 40, S. 671 ff.), das neuerdings mit geringerer Modifikation seitens der Elektrizitätsgesellschaft Sanitas unter dem Namen Rotax-Unterbrecher (Fig. 2) auf den Markt gebracht ist. Ein Quecksilber und Petroleum enthaltendes Gefäß wird in rasche Rotation versetzt. Das Quecksilber Q legt sich durch die Zentrifugalkraft gehoben als Ring

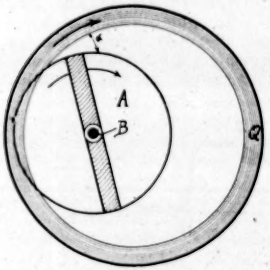


Fig. 2.

an die Gefäßwandung an. Exzentrisch zur Achse des Rotationsgefäßes ist ein Kontakträdchen A mit feststehender Achse B eingeführt, wie die Figur es zeigt. Dieses Rädchen (bei Tesla war es ein Sternrad) ist an der Oberfläche gezahnt um Brückenbildung von Kontakt zu Kontakt durch Quecksilberteilchen zu vermeiden. Das Rädchen wird von dem Quecksilber mitgerissen, schließt den Strom und unterbricht ihn. Dieser Unterbrecher arbeitet ganz brauchbar. Die Schwierigkeit, einem leicht drehenden Rädchen, das als Kontakt funktionieren soll, den Strom sicher zuzuführen, ist bei dem Sanitasmodell durch einen Quecksilberkontakt hinreichend gelöst. Dagegen ist die Abreißgeschwindigkeit der Kontakte naturgemäß nicht sehr groß, weil der Quecksilberring und das Kontaktrad sich im gleichen Sinne bewegen. Dagegen ist der Kontakt selbst solange noch genügendes metallisches Quecksilber vorhanden ist, innig, da das Rädchen tief in das Quecksilber eintaucht.

Beim Rekordunterbrecher (Fig. 3) von Reiniger, Gebbert & Schall wird der Quecksilberring Q auf gleiche Weise hergestellt. In ihn stechen radial bewegte vibrierende Festkontakte A ein. Diese Festkontakte machen die

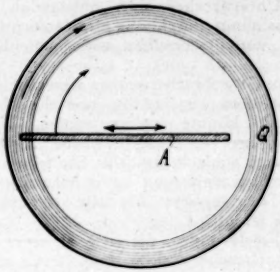


Fig. 3.

Rotation gleichfalls mit, haben also eine kombinierte Bewegung: Drehung und radiale Oszillation. Als Abreißgeschwindigkeit kommt natürlich nur die radiale Bewegung in Frage. Deswegen ist die Abreißgeschwindigkeit klein. Da die Zentrifugalkraft diametral entgegengesetzt der Abreißbewegung ist, bilden sich keine Tropfen. Die Verschlammung ist äußert gering, die Belastbarkeit ist gut, dagegen ist der Bewegungsmechanismus der kreisenden und oszillierenden Stifte kompliziert und gibt zu starken Vibrationen Veranlassung, wenn man den Unterbrecher ohne federnde Aufhängung auf den Tisch stellt.

Die möglichst vollständige Vermeidung von Verschlammung und das Bestreben nach Vereinfachung brachte mich auf den Gedanken, einen Unterbrecher auf Grund der Überkreuzung von Bewegungskurven zu konstruieren. In der Fig. 4 ist A ein Quecksilbergefäß, das um die schräggestellte Achse B rotiert. Durch die Fliehkraft erhebt sich der Quecksilberring Q und nimmt bei nicht zu hoher Tourenzahl

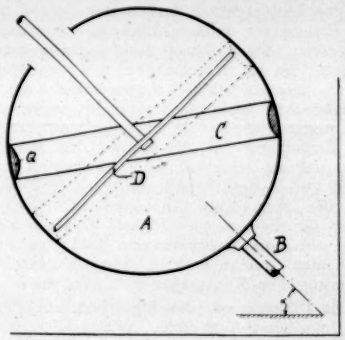


Fig. 4.

unter dem Einfluß der Schwere eine Lage an, die der dick ausgezeichneten Linie *C* entspricht. Man braucht dann lediglich in dem Gefäße selbst Kontaktstellen anzubringen, oder wie die Fig. 4 andeutet, Innenkontakte *D* fest zu verbinden. Ihre Bewegungsebene überschneidet alsdann die Rotationskurve des Quecksilbers und man hat einen Unterbrecher vor sich, der jedenfalls an Einfachheit nicht mehr übertroffen werden kann. Ich habe diesen Unterbrecher ausgeführt. Es gibt eine beschränkte Leistung. Abgesehen davon, daß die spitzwinklige Trennung der Kontakte nicht sehr günstig erscheint, arbeitet er auch nur mit geringen Tourenzahlen. Denn wie vorauszusehen war, überwog bei zunehmender Rotationsgeschwindigkeit der Einfluß der Zentrifugalkraft über den Einfluß der Schwere und die Rotationsebene des Quecksilberringes nahm immer mehr die Senkrechte zur Achse an. (In Fig. 4 gestrichelte Linie.) Damit hört natürlich die Überkreuzung der Rotationsebenen und die Ursache zur Unterbrechung auf.

Kehrt man aber, wie's Fig. 5 andeutet, die Anordnung um, so erhält man einen recht

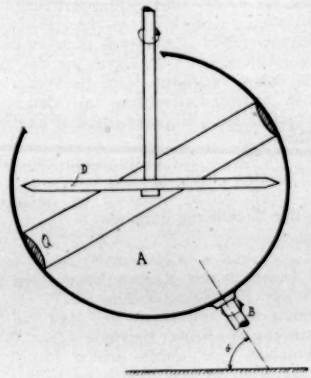


Fig. 5.

brauchbaren Unterbrecher, der aber nur für größere Tourenzahl verwendbar ist. Er hat den Nachteil der spitzwinkligen Kontaktbewegung, ferner den, daß der Stromkreis des Induktoriums erst eingeschaltet werden darf, wenn eine ziemlich große Tourenzahl erreicht ist. Vorher bildet der Unterbrecher sonst Kurzschluß.

Ich ging zu einem anderen Prinzip über, nämlich zur Deformation der Rotationskurve. Damit glaube ich einen Erfolg erzielt zu haben. Denn die nach diesem zum Patent angemeldeten Prinzip von den Veifa-Werken in Aschaffenburg hergestellten Unterbrecher geben unter merkwürdig günstigen Bedingungen eine Leistung, wie man sie an mechanischen Unterbrechern wohl kaum kennt. Der Grund ist sehr einfach. Die Unterbrechungsgeschwindigkeit, d. h. die Schnelligkeit der Trennung der Kontakte ist gleich der vollen Peripheriegeschwindigkeit des rotierenden Gefäßes. Der Unterbrechung geht eine äußerst intensive Kontaktbildung voraus. Außer einem einzigen feststehenden Körper dem sogenannten Deviator oder wie er im nachfolgenden genannt ist, Messer, befindet sich kein die Flüssigkeitsbewegung störender Teil im Innern des Gefäßes. Es gibt keine mechanischen Rücksichten, wie etwa das Mitreißen eines Kontaktrades oder die Oszillationsbewegung eines Kontaktstiftes, welche die Geschwindigkeit der Bewegung eng begrenzen. Die Verschlammung ist tatsächlich unglaublich gering. — Die nötige Quecksilbermenge ist winzig, etwa 8—12 cm. Von einer irgendwie nennenswerten Abnutzung kann wohl nach Lage der Sache kaum die Rede sein. Auch Kontakte, die technische Schwierigkeiten bieten, wie der Radkontakt des Tesla- bezw. Rotaxunterbrechers existieren nicht.

Es ist selbstverständlich, daß man das Prinzip dieses Unterbrechers, die Deformation einer Rotationskurve zu verschiedenen Ausführungsformen ausgestalten kann. Im nachfolgenden gebe ich die von den Veifa-Werken übernommene Konstruktion an (Fig. 6).

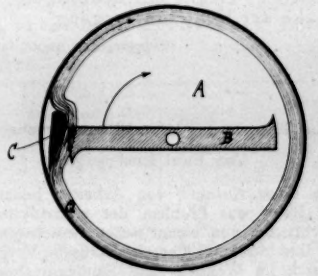


Fig. 6.

Ein um seine Achse rotierendes Gefäß *A* schleudert das Quecksilber in einem Ring herum. Fest verbunden rotieren mit dem Gefäße die Kontakte *B*, die in Fig. 6 als Kontaktstifte gezeichnet, ebensogut aber auch als Rad mit Metallsegmenten und dergleichen ausgebildet sein können. Die Anzahl dieser Kon-

taktstifte oder Segmente richtet sich nach der gewünschten Unterbrechungsfrequenz.

Die Kontaktstifte sind so eingebaut, daß sie normal den Quecksilberreif nicht berühren.

In das Gefäß taucht ein „Messer" oder „Deviator" genannter Körper C ein, der sich nicht mit dem Quecksilber Q bewegt. Er wird im allgemeinen feststehen, kann aber auch entgegengesetzt rotieren, oder, wobei die Unterbrechungszahl abnimmt, im gleichen Sinne rotieren, aber mit niederer Geschwindigkeit. Dieses Messer ist gewölbt gebaut, so daß es mit großer Geschwindigkeit an seine Schneide herantretende Quecksilber an ihm emporläuft und darüberströmend sich dem Kontaktstift nähert. Wird der Einfachheit halber angenommen, daß dieses Messer steht, so wird das umlaufende Quecksilber an einer festen Stelle in seiner Umlaufsfigur derartig deformiert, daß jedes mitrotierende Kontaktstück in seinem Umlauf einmal eintaucht. Es ist evident, daß das Messer durch einen anderen geeigneten Körper ersetzt werden kann. Zum Beispiel durch ein Stück, welches die Quecksilberbewegung nach oben oder nach unten ablenkt. Das Prinzipielle und Neue an der Konstruktion ist, daß eine durch zentrifugale Bewegung erzeugte Bewegungsfigur eines flüssigen Leiters (Quecksilberring) an einer oder mehreren Stellen derart deformiert wird, daß ein den zweiten Kontakt bildender fester Leiter an dieser bezw. diesen Stellen mit dem Quecksilber in Verbindung kommt, Kontakt und Unterbrechung bildet. Das charakteristische dieser Unterbrechergattung ist also die „Deformation einer Schleuderfigur zum Zwecke der Kontakterzeugung".

(Eingegangen 7. August 1909.)

Zur Theorie des Wehneltunterbrechers.

Von Paul Ludewig.

In einer Anzahl[1]) von Arbeiten behandelt Paul Bary das Problem der elektrolytischen Unterbrecher von einem neuen Gesichtspunkte aus. Ihm erscheint der physikalische Vorgang, der sich im Wehnelt- und Simonunterbrecher abspielt, in den zahlreichen Arbeiten, die bisher über diesen Gegenstand geschrieben sind, noch nicht genügend erklärt. Nachdem die Ursache des eigenartigen Vorgangs von Wehnelt[2]) zuerst in dem Vorhandensein eines aus Selbstinduktion und Kapazität bestehenden Schwingungskreises, in einer späteren Arbeit[1]) allein in der Elektrolyse gesucht wurde; nachdem H. Th. Simon[2]) den Vorgang nur durch die durch Joulewärme erzeugte Verdampfung der Flüssigkeit erklärt hat; nachdem Clupathy[3]) in einer längeren Arbeit den Peltiereffekt an der Berührungsstelle Platin-Schwefelsäure für groß genug hielt, um die Flüssigkeit zu verdampfen, versucht Paul Bary jetzt auf einer anderen physikalischen Erscheinung eine Theorie für die elektrolytischen Unterbrecher aufzubauen.

Er geht von der Erscheinung aus, daß in einem vom Strom durchflossenen Flüssigkeitsfaden infolge der elektromagnetischen Wirkung der einzelnen Stromelemente bei genügender Stromdichte sich eine Einschnürung bildet, die sich bis zum Zerreißen des Fadens verengt, und nimmt an, daß bei den elektrolytischen Unterbrechern diese „elektromagnetische Striktion" an der Stromeinschnürungsstelle die einzige Ursache für das Zustandekommen der Unterbrechungen sei.

Leider sind ihm bei der Durchsicht der Literatur meine Arbeiten[4]) über diesen Gegenstand vollkommen entgangen. Es ist ihm daher auch unbekannt, daß eine Theorie nicht zugleich für Loch- und Stiftunterbrecher — er macht keinen Unterschied zwischen den beiden — gemeinsam gelten kann, weil man es mit zwei ganz verschiedenen Vorgängen zu tun hat. Es sei mir daher vergönnt, kurz die Widersprüche zwischen seiner Auffassung und den von mir früher gefundenen experimentellen Ergebnissen anzuführen.

Der Druck in der Mitte eines vom Strom $\mathfrak{J}$ durchflossenen Flüssigkeitsfadens infolge der elektromagnetischen Striktion ist nach Bary[5]) durch die Gleichung gegeben

$$p = \frac{\mathfrak{J}^2}{\pi R^2} = \frac{4\mathfrak{J}^2}{\pi d^2}, \qquad (1)$$

wo R bezw. d der Radius bezw. der Durchmesser des Flüssigkeitsfadens ist.

Nimmt man mit Bary an, daß die Stromabschnürungen beim Betriebe des Wehneltunterbrechers nur durch diesen Druck verursacht werden, so ergibt sich nach Bary[6]) die Zahl der Unterbrechungen zu

$$N = \frac{1}{\frac{L}{R}\log\text{nat}\frac{E}{E - AR\sqrt{P} - T} + t'}, \qquad (2)$$

wo

L die Selbstinduktion des Kreises,
R der Ohmsche Widerstand,

1) L'Éclair. électr. **51**, 37, 1907; C. R. **147**, 570, 1908; L'Éclair. électr. **6**, 136 u. 172, 1909.
2) Verhandl. d. Deutsch. Phys. Ges. 1899, S. 53.
1) Wied. Ann. **68**, 233, 1899.
2) Wied. Ann. **68**, 272, 1899.
3) Wied. Ann. **9**, 147, 1902.
4) Göttinger Diss. 1907 und Ann. d. Phys. **25**, 467, 1908; Ann. d. Phys. **28**, 175, 1909.
5) L'Éclair. électr. **51**, 41, 1907.
6) L'Éclair. électr. **6**, 172, 1909.

E die Betriebsspannung,
A eine dem Unterbrecher eigentümliche Konstante,
P der Druck der über der Unterbrechungsstelle stehenden Flüssigkeitssäule,
T Dampfspannung der Flüssigkeit,
t' die Zeit des Stromabfalls nach der Unterbrechung.

Die Formel gibt zwar qualitativ den Einfluß der Selbstinduktion und der Betriebsspannung wieder, ebenso den Einfluß des Widerstandes R und den Einfluß von P und T, wie man aus der untenstehenden, durch Reihenentwicklung erhaltenen Umformung der Formel ersieht.

$$N = \frac{1}{\frac{LA\sqrt{P-T}}{E} + \frac{LA^2\sqrt{P-T^2}}{E^2\ 2}R + \frac{LA^3\sqrt{(P-T^3)}}{E^3\ 3}\cdot R^2 \cdots + t'} \qquad (3)$$

Daß aber diese Theorie niemals für beide Unterbrechertypen gemeinsam gelten kann, ergibt sich aus der früher von mir gefundenen Tatsache, daß der Wehnelt- und der Simonunterbrecher unter gleichen Versuchsbedingungen nicht gleiche Unterbrechungszahlen besitzen. Die von mir aufgenommenen Photographien des Wehneltstiftes beim Betriebe[1]) zeigen deutlich, daß im Wehneltunterbrecher die Elektrolyse die Hauptrolle spielt. Für den Wehneltunterbrecher ist also die Barysche Theorie sicher abzulehnen.

Auf den Lochunterbrecher angewandt, scheint sie auf den ersten Blick einen gewissen Grad von Berechtigung zu haben, besonders, da in ihm — wie die Barysche Theorie verlangt — die Stromrichtung beliebig ist. Es ist daher nötig, die Größenordnung der durch Formel (1) gegebenen Kräfte für ein paar praktische Fälle durchzurechnen. In der Tabelle ist eine derartige Versuchsreihe zusammengestellt, und zwar sind vier Beispiele[2]) mit möglichst heterogenen Versuchsbedingungen ausgewählt. Zur Berechnung des Druckes, der in der Mitte der Unterbrechungsstelle herrscht, sind in Formel (1) als $\mathcal{J}$ die maximalen Werte des Stromes eingesetzt. Die so erhaltenen Werte sind, wie man sieht, außerordentlich gering und gegenüber dem Gegendruck der über dem Loch stehenden Flüssigkeitssäule vollkommen zu vernachlässigen. Die elektromagnetische Striktion mag daher vielleicht an sich bei dem Phänomen der elektrolytischen Unterbrecher auftreten, die durch sie ausgelösten Kräfte sind aber so gering, daß sie nur eine ganz untergeordnete Rolle spielen und z. B. beim Lochunterbrecher gegenüber der Hauptwirkung der infolge der Joulewärme eintretenden Verdampfung ganz in den Hintergrund treten. Zum Vergleich sind in der Tabelle auch die Anzahl der während einer Unterbrechung ausgelösten Grammkalorien eingetragen und daraus — unter Vernachlässigung der Wärmeleitung, die speziell bei langsamen Unterbrechungen eine Rolle spielen wird — die Dampfmengen berechnet, die durch sie durch Erhitzen bis zum Siedepunkt und Verdampfen erzeugt werden können. Ein Vergleich mit der Größe des Lochinhaltes ergibt, daß diese Dampfmenge bei weitem hinreicht, um das Loch vollkommen mit Dampf zu erfüllen. Die Simonsche Theorie, deren Richtigkeit ich für den Lochunterbrecher nachgewiesen habe, ist also durch Herrn Bary nicht widerlegt.

Lochunterbrecher.

Nr.	d	E	L	N	Dauer einer Unterbrechung	$\mathcal{J}_{eff}$	$\mathcal{J}_{max}$	g/Kal.	Erhitzte und verdampfte Menge von Wasser	Gebildete Dampfmenge	Inhalt des Loches	p	Höhe der p entsprechenden Wassersäule
	mm	Volt	Henry	pro sec	sec	Amp.	Amp.		g	cm³	cm³	Dyn. pro cm²	cm
102	3	60	0,085	9	0,11	6,5	7,67	6,88	0,01	17,7	0,0056	8,4	0,008
107	3	100	0,0195	69	0,0145	10,8	13,25	2,95	0,0047	7,5	0,0056	24,5	0,025
114	2	60	0,085	48	0,02	3	4,5	0,59	0,0009	1,44	0,0025	6,4	0,006
119	2	100	0,0195	175	0,0057	6,5	9,6	0,6	0,00097	1,55	0,0025	29,3	0,029

1) Ann. d. Phys. **28**, 186 ff., 1909.
2) Die Beispiele sind der Tabelle 1 meiner Dissertation: Über die sogenannten elektrolytischen Stromunterbrecher, Göttingen 1907, S. 29, entnommen.

Elektrotechnisches Institut des Physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M., Juli 1909.

(Eingegangen 9. Juli 1909.)

BESPRECHUNGEN.

Jahrbuch der Naturwissenschaften. XXIII. 1907—1908. Herausgegeben von M. Wildermann. Lex. 8. XII u. 509 S. mit 29 Abbildungen. Freiburg B., Herdersche Verlagshandlung. 1908. Gebunden M. 7.50

Bei allen Jahrbüchern über derartig breite Gebiete wie die gesamten Naturwissenschaften wird die Willkür in der Auswahl des Referierten stets eine besonders große sein und die wenigsten Referenten werden das Glück und die Fähigkeiten haben, gerade das auszuwählen, was sich späterhin einmal als besonders wertvolle Erkenntnis erweist. Diese Überzeugung drängte sich dem Berichterstatter bei diesem Jahrgange besonders deutlich auf, ohne daß damit dem Jahrbuche eine Schwäche vorgeworfen werden soll. Dagegen sollten Fehler wie 1 Karat gleich 205 Gramm (S. 201) nicht vorkommen, ebenso sollte beim Referat einer französischen Arbeit das Wort Potassium nicht unübersetzt ins Deutsche übernommen werden (S. 203) u. dergl. Derartige Einzelheiten beeinträchtigen allerdings den Wert des Ganzen für weitere Kreise naturwissenschaftlich Interessierter kaum. E. Bose.

William Ramsay, Einleitung in das Studium der physikalischen Chemie. Übersetzt von Max Iklé. 8. 83 S. Leipzig, Joh. Ambros. Barth. 1908. M. 1.60

Eine ganz kurze wesentlich historisch gehaltene Darstellung der allerwichtigsten Grundgesetze physikalisch-chemischer Vorgänge, wie sie klarer kaum gedacht werden kann. Namentlich dem mit dem Gegenstande Vertrauten, der in einem Zuge diese Einleitung durchlesen kann, winkt ein eigenartiger Genuß. Der Name des Übersetzers ist den Lesern dieser Zeitschrift wohlbekannt und erübrigt sich dadurch ein besonderer Hinweis auf die Güte der Übertragung ins Deutsche. E. Bose.

Eduard Riecke, Lehrbuch der Physik. Zwei Bände. 4. Auflage. gr. 8. XVI, 580 u. XII, 742 S. mit 466 u. 333 Fig. Leipzig, Veit & Co. 1908. M. 26.—, gebunden M. 28.—

Eduard Rieckes seit 13 Jahren bewährtes Lehrbuch der Physik ist dem Referenten fast seit dem Beginne seines Studiums ein hochgeschätzter Führer gewesen, dem bei Gelegenheit des Erscheinens dieser Auflage lebhaftesten Dank abzustatten dem Schreiber dieser Zeilen ein inneres Bedürfnis ist. Es ist hier nicht der Ort, im einzelnen die Vorzüge des bewährten Werkes zu analysieren, so daß es bei der Anzeige des Erscheinens einer neuen Auflage sein Bewenden haben muß. E. Bose.

Tagesereignisse.

Der **erste internationale Radiumkongreß** soll im nächsten Jahre in Brüssel stattfinden. Als Teilnehmer haben bis jetzt u. a. zugesagt: Sv. Arrhenius, Sir Will. Crookes, Mme. Curie, Sir Will. Ramsay, E. Rutherford.

Personalien.

(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Habilitiert: An der Universität Wien Dr. J. Nabl für Physik, am Polytechnikum in Zürich Dr. G. Du Pasquier für Mathematik und Dr. A. de Quervain für physikalische Geographie und Meteorologie, an der Deutschen Technischen Hochschule in Prag Dr. A. Grünwald für Geometrie, an der Technischen Hochschule Danzig Dipl.-Ingenieur H. Roth für Elektromaschinenbau, an der Technischen Hochschule Aachen Dr. P. Oberhoffer für physikalische Metallurgie.

Mit Vorlesungen beauftragt: An der Akademie Posen der Oberlehrer Professor W. Könnemann für Physik, der Oberlehrer Professor Dr. H. Thieme für Mathematik, an der Columbia-Universität in Neuyork der Professor für angewandte Mathematik Dr. C. Runge in Göttingen.

Ernannt: Der Privatdozent für anorganische Chemie an der Technischen Hochschule Stuttgart Dr. Paul Rohland zum a. o. Professor daselbst, der ord. Professor der Astronomie an der Universität Wien Dr. Josef v. Hepperger zum Direktor der Universitätssternwarte ebenda, der ord. Professor der Astronomie und Direktor der Sternwarte an der Universität Göttingen Dr. Karl Schwarzschild zum Direktor des Astrophysikalischen Observatoriums in Potsdam, als Nachfolger H. Vogels, der a. o. Professor für Mathematik an der Universität Berlin Dr. R. Lehmann-Filhés zum ord. Professor, der Privatdozent Dr. A. Kliegl an der Universität Tübingen zum 1. Assistenten des chemischen Instituts (als Nachfolger von E. Wedekind), zum Direktor der Sternwarte und ord. Professor der Astronomie an der Universität Göttingen der Observator am Astrophysikalischen Observatorium in Potsdam Professor Dr. J. Hartmann (als Nachfolger von K. Schwarzschild).

Berufen: Der Professor der Physik an der Staatsuniversität von Jowa Dr. K. E. Guthe zum Professor der Physik an der Universität von Michigan.

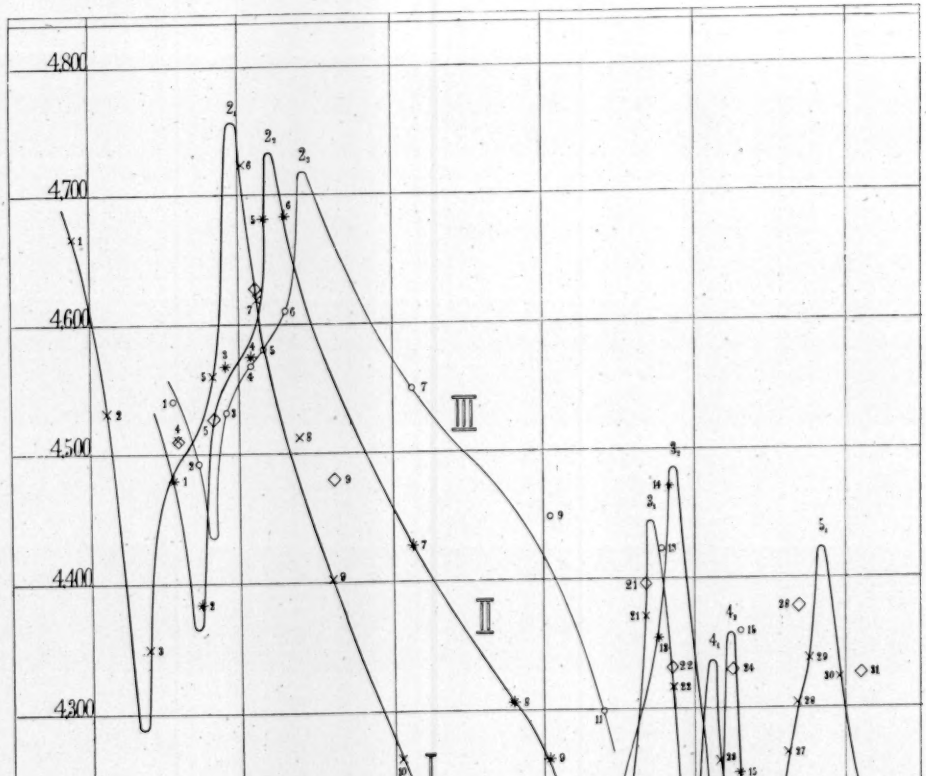
Gesuche.

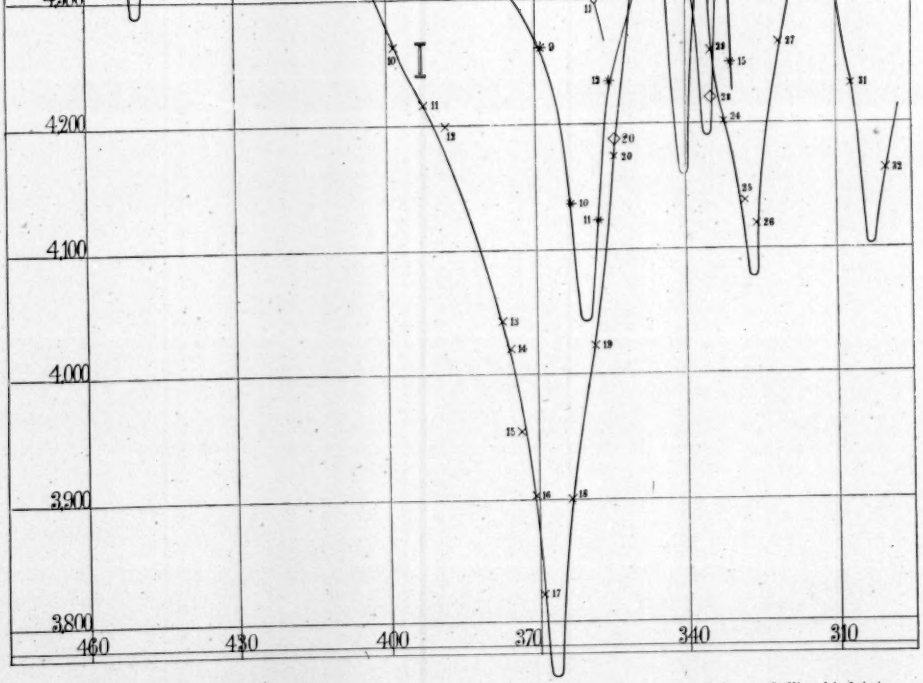
Die Stelle des

Assistenten

am Zentralbureau der internationalen seismologischen Assoziation ist am 1. Oktober zu besetzen. Gehalt 1800 M. Meldungen sind zu richten an den Direktor des Zentralbureaus, **Straßburg i. E.**, Schwarzwaldstraße 10.

Für die Redaktion verantwortlich Professor Dr. Friedrich Krüger in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.


4800
4700
4600
4500
4400
4300
I
II
III



A. R. Colley, Über den Verlauf der Dispersion im elektrischen Spektrum des Athylalkohols.

Verlag von S. Hirzel in Leipzig.

OBERLIN COLLEGE LIBRARY